

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra automatizační techniky a řízení

Adaptivní filtry pro aktivní potlačování hluku

Adaptive Filters for Active Noise Control

Student:

Bc. Adam Machač

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Jiří Tůma, CSC

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra automatizační techniky a řízení

## Zadání diplomové práce

**Bc. Adam Machač**

Student:

Studijní program:

Studijní obor:

Téma:

N2301 Strojní inženýrství

3902T004 Automatické řízení a inženýrská informatika

Adaptivní filtry pro aktivní potlačování hluku  
Adaptive Filters for Active Noise Control

Zásady pro vypracování:

1. Popište vliv hluku na lidský organismus a navrhněte aktivní metody potlačování hluku.
2. Popište funkci adaptivních filtrů a jejich využití v systémech potlačování hluku.
3. Ověřte účinek adaptivních filtrů simulacemi v Matlabu.
4. Proveďte experimenty se sluchátkem pro aktivní potlačování hluku pro vyhodnocení jejich účinnosti.
5. Posuďte výsledky experimentů a připravte návod k laboratorním cvičením s využitím sluchátek pro aktivní potlačování hluku.

Seznam doporučené odborné literatury:

- Škvor, Z., Akustika a elektroakustika. Academia, 2001.  
Crocker, M. (Editor) Handbook of noise and vibration control. New York: Wiley, 2007.  
Liu, K.H., Chen, L.C., Ma, T., Bellala, G., Chu, K., Active Noise Cancellation Project. EECS 452, Winter 2008, 4/17/08.  
Roshahliza M., Ramli, Ali O., Abid Noor, and Salina Abdul Samad, A Review of Adaptive Line Enhancers for Noise Cancellation. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(6): 337-352, 2012, ISSN 1991-8178.  
Tůma, J. Signal processing, 1. vyd. Ostrava : Skripta VŠB - TU Ostrava, 2009. 156 s. ISBN 978-80-248-2114-6.  
Haykin, S., Adaptive Filter Theory, 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.

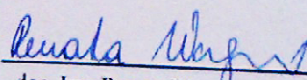
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

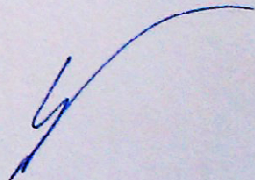
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



  
doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady literaturu.

V Ostravě .....

.....

Adam Machač

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřeb bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TU k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TU.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TU, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TU, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TU na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Adam Machač

Adresa trvalého pobytu autora práce: Na Slezance 719/6, Vratimov, 739 32



## Anotace diplomové práce

Machač, A. Adaptivní filtry pro aktivní potlačování hluku. Ostrava: Katedra automatizační techniky a řízení, VŠB – TU Ostrava, 2015. 74 stran. Diplomová práce, vedoucí: Tůma, J.

Práce se zabývá aktivním potlačováním hluku. Základem algoritmu potlačování hluku ve sluchátkách jsou adaptivní filtry. Algoritmus adaptivního filtru typu LMS je popsán a nasimulován v Matlabu. Funkce algoritmu je experimentálně ověřena ve sluchátkách od firmy Noise guard. V laboratorní části je popsán účinek sluchátek Sennheiser PXC 450 na potlačení hladiny hluku. Naměřená data jsou vyhodnocena do třetionooktávových spekter v programu SignalAnalyseru. Přílohou práce jsou návody pro laboratorní cvičení pro studenty katedry ATŘ.

## Klíčová slova

Aktivní potlačování hluku, Sennheiser PXC 450, laboratorní cvičení

## Annotation

Machač, A. Adaptive filters for active noise kontrol. Ostrava: Department of Control Systems and Intrumentation, VŠB – TU Ostrava, 2015. 74 pages. Thesis supervisor: Tůma, J.

The diploma thesis deals with active noise control. The effect of the noise canceling system is based on adaptive filters incorporated in headphones. One of these algorithms is of the LMS type. The principle is described and simulated in Matlab. Algorithm of the adaptive filter was experimentally verified with the use of the headphones from the Noise guard company. The effect of headphones Sennheiser PXC 450 on the noise level decrease is described in the laboratory section of the thesis. The measured data are evaluated in the form of the 1/3-octave spectra with the use of indoor software called a SignalAnalyser. An appendix contains instructions for laboratory exercises for students of the Department of Control Systems and instrumentation.

## Key words

Active noise control, Sennheiser PXC 450 headphones, laboratory exercise

## **Seznam zkratk a použitých symbolů**

ANC – Active noise control – aktivní potlačování hluku

BNC - konektory

CPB – Constant Percentage Band - oktavové spektrum

FIR – finite impulse response - metoda konečných impulzních odezev

FFT – Fast fourier transform – rychlá Fourierova transformace

LM - Left Microphone – levý mikrofon uvnitř sluchátka

LMS – Steepest descent algorithm - algoritmu nejstrmějšího sestupu

LS - Left Speaker – levý reproduktor sluchátek

Mic - Microphone – referenční mikrofon

RLS - Recursive Least Squares – metoda rekurzivních nejmenších čtverců

RM - Right Microphone – pravý mikrofon uvnitř sluchátka

RS - Right Speaker – pravý reproduktor sluchátek

## Seznam použitých veličin

$C(n)$  – nákladová funkce

$c$  - rychlost zvuku v prostředí [m/s]

$d(n)$  – požadovaný signál

dB – jednotka hluku

$e(n)$  – chyba

$f$  – frekvence zvuku

$f_c$  je střední frekvence

$\Delta f$  je šířka pásma

fón – jednotka hlasitosti

$h$  - je přenos v simulované úloze

$h(n)$  – váhový filtr

Hz – kmitočet

$I$  – intenzita zvuku

$L_i$  – Hladina intenzity zvuku

$L_p$  – hladina akustického tlaku

$P$  - akustický výkon zdroje, je energie vyzářená jako akustické vlny.

$p$  – je řád FIR filtru

$p$  - efektivní hodnota akustického tlaku

$p_0$  - referenční hodnota akustického tlaku

$R$  – autokorelační matice

$S$  - uzavřená plocha (celková), plně obklopuje vyzářený akustický výkon

$T$  - perioda [s], tedy doba jednoho kmitu

$v(n)$  – rušivý signál

$x$  – je testovací signál

$x(n)$  - vstupní signál

$\lambda$  - vlnová délka [m]

$\lambda_{\max}$  - největší vlastní číslo autokorelační matice

$\delta$  - relativní šířka pásma

$\mu$  – určuje rychlost sestupu neboli klesání vykreslené křivky

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Vliv hluku na lidský organizmus a aktivní metody potlačování hluku</b>	<b>12</b>
2.1	<i>Funkce lidského ucha</i>	12
2.2	<i>Vlastnosti lidského ucha</i>	13
2.3	<i>Akustický tlak</i>	15
2.3.1	Hluk	15
2.3.2	Měření akustického tlaku	16
2.4	<i>Akustické veličiny</i>	21
a)	Frekvence zvuku	21
b)	Intenzita zvuku	22
c)	Hladina akustického tlaku	23
d)	Akustické spektrum	24
2.5	<i>Druhy akustického signálu</i>	28
2.6	<i>Aktivní metody potlačování hluku</i>	28
2.6.1	Unikátní metoda potlačování hluku	30
2.6.2	Metoda realizovatelná v podmínkách univerzity	31
<b>3</b>	<b>Funkce adaptivních filtrů a jejich využití v systémech potlačování hluku</b>	<b>32</b>
3.1	<i>Algoritmus LMS</i>	33
3.1.1	Derivace	34
3.1.2	Konvergence a stabilita	35
3.2	<i>Echo rušení</i>	36
3.3	<i>Další použití adaptivních filtrů</i>	36
<b>4</b>	<b>Ověření účinků adaptivních filtrů simulacemi v Matlabu</b>	<b>38</b>
4.1	<i>Popis simulace</i>	38
4.2	<i>Simulace v Matlabu</i>	40
<b>5</b>	<b>Experiment se sluchátky pro aktivní potlačování hluku</b>	<b>43</b>
5.1	<i>Sluchátka Sennheiser PXC 450</i>	43
5.2	<i>Měření sluchátek</i>	45
5.3	<i>Vyhodnocení účinnosti Sluchátek Sennheiser PXC 450</i>	51
<b>6</b>	<b>Návody pro cvičení</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>Přílohy</b>	<b>58</b>



9.1	Příloha 1 .....	59
9.2	Příloha 2 .....	60
<b>1</b>	<b>Popis .....</b>	<b>63</b>
<b>2</b>	<b>Zařízení .....</b>	<b>63</b>
2.1	Sluchátka Sennheiser PXC 450 .....	63
2.2	Kabeláž .....	66
2.3	Měřicí karta .....	67
2.4	SignalAnalyser .....	68
<b>3</b>	<b>Měření .....</b>	<b>69</b>
3.1	Naměření dat .....	69
3.2	Vyhodnocení dat .....	71

## 1 Úvod

V dnešní době je hluk v životním a pracovním prostředí předmětem zvýšené pozornosti. Jeho rostoucí hladina vede k poškození sluchu u pracovníků a nárůst hluku obecně přispívá k horším životním podmínkám a stresu. Aktivní potlačování hluku tedy získává důležitější místo v provozu, výrobě i v běžném životě.

Tato diplomová práce se zabývá stručným popisem vlivu hluku na lidský organismus. S čím souvisí stavba lidského ucha, práh bolesti a poruchy lidského sluchového ústrojí. Práce navrhuje aktivní metody potlačování hluku. Dále jsou popsány akustické veličiny, které je nezbytné znát pro práci se zvukem, či hlukem, jako akustický tlak, intenzita, hladiny akustického tlaku a jednotky ve kterých se měří a vyhodnocuje. Součástí textu je také seznámení se s měřicími přístroji, kterými měříme a zaznamenáváme hluk, to znamená s mikrofony. Je popsáno rozdělení mikrofonů, schémata a funkce. Neméně důležité je vyhodnocování, pomocí zařízení, jako zvukoměry a frekvenční váhové filtry. Dále také zvukové spektra FFT, oktávové a třetino oktávové pásma.

Dalším cílem této diplomové práce je seznámení se s adaptivními filtry, jejich stavbou konstrukcí a hlavně funkcí. Je popsáno využití adaptivních filtrů v systémech potlačování hluku, i kde se používají v běžném životě.

Diplomové práce se také zabývá ověřením účinku adaptivních filtrů. Účinek adaptivních filtrů a algoritmů má být ověřen dle zadání simulacemi v Matlabu. Je tedy třeba naprogramovat a upravit algoritmus v Matlabu.

V předposlední části práce bude proveden experiment v laboratoři. Tento experiment ověřuje funkci sluchátek Sennheiser PXC 450 a vyhodnotit jejich účinnost v jednoduché úloze.

A nakonec v poslední části práce je třeba zpracovat návody pro laboratorní cvičení. V úloze pro cvičení si studenti odzkouší aktivní potlačování hluku a také ověří funkci aktivních sluchátek.

## **2 Vliv hluku na lidský organizmus a aktivní metody potlačování hluku.**

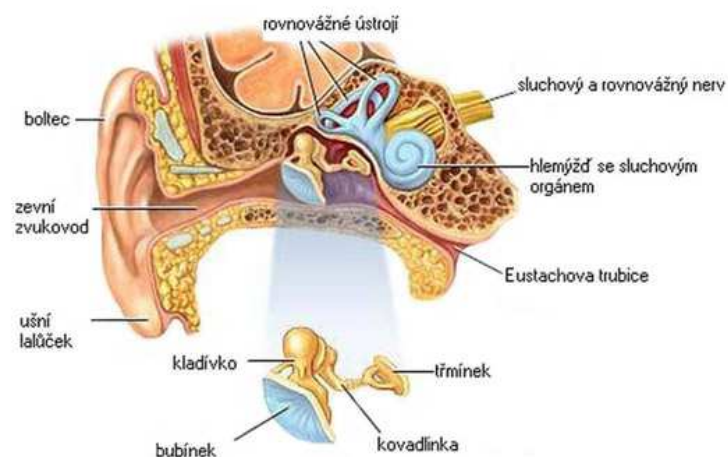
Z psychologického hlediska je zachycený zvukový impuls podnětem. Tyto podněty dráždí určitá místa mozku, což můžeme posoudit jako libý nebo nežádoucí účinek. Tyto účinky jsou samozřejmě různé podle typu člověka, jeho nálady nebo třeba podle jeho zkušeností. Proto jsou důležité i účinky psychické. Mezi zdroje hluku patří hlavně věci vyrobené člověkem (stroje, auta, kosmické lodě, letadla), z menší části i sám člověk (hluk ve třídě, doma, ve společnosti) a nepatrně i příroda (vítr, déšť, bouře, sopečný výbuch).

Co je to hluk? Nejjednodušší odpověď je, že je to vnější podnět, který vnímáme lidským sluchem, který je jedním ze základních pěti lidských smyslů. Zvuky o velmi nízké frekvenci můžeme vnímat celým tělem, ale tento „hluk“, kterým představuje nízkofrekvenční změny okolního tlaku vzduchu, není lidským uchem téměř slyšitelný. Signál z ucha se dostává do mozku, kde vyvolává odezvu ve formě pocitů. Je všeobecně známo, že vysoká hlučnost nebo frekvenční složení hluku vyvolá nepříjemné pocity. Na druhé straně jsou zvuky, které přispívají k pohodě a pěknému kulturnímu zážitku. Já rád poslouchám vážnou hudbu a pro mne to jsou hezké zvuky. Kromě toho může mít hluk i škodlivé účinky pro lidské zdraví. Trvalý nebo dlouhodobý pobyt v hlučném prostředí a náročná duševní práce může zvýšit krevní tlak. V dnešní době je to velmi rozšířené.

### **2.1 Funkce lidského ucha**

Sluchem jsou obdařeni lidé a mnozí živočichové. Ucho jako takové je sluchový orgán obratlovců. Základními částmi ucha jsou vnější, střední a vnitřní ucho.

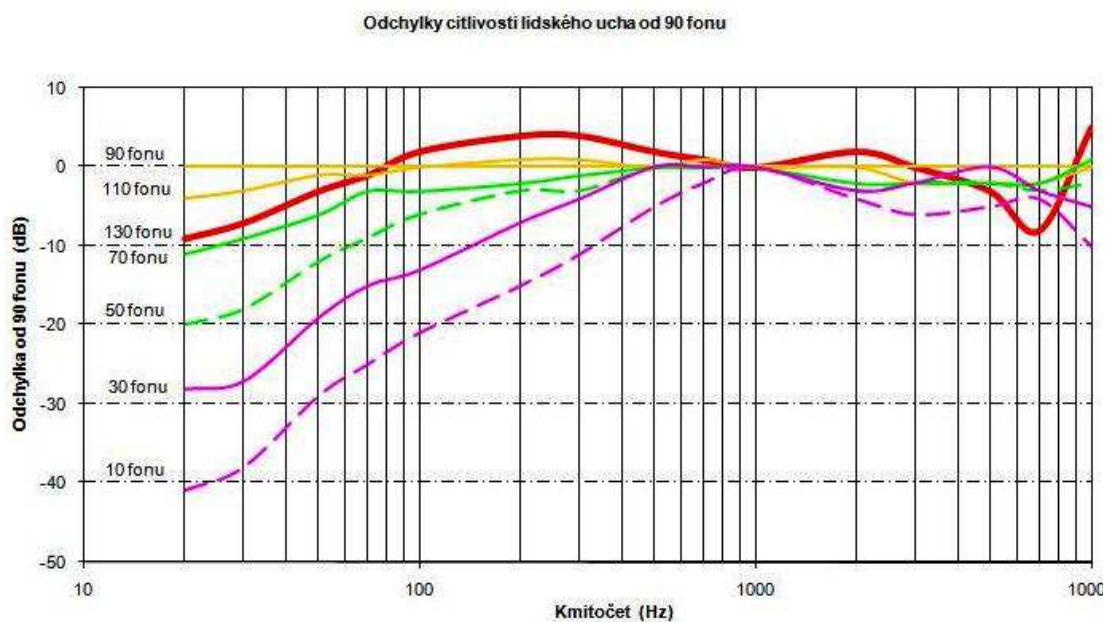
- Vnější ucho se skládá z boltce, vnějšího zvukovodu a bubínku.
- Střední ucho obsahuje bubínek, kladívko, kovadlinku, třmínek, sluchové kůstky a je zakončeno kruhovým hlemýžďovým okénkem.
- Vnitřní ucho je tvořeno hlemýžďem a rovnovážným orgánem.



Obrázek 1 Lidské ucho [1]

## 2.2 Vlastnosti lidského ucha

Průběh vnímání různých úrovní akustického tlaku je v lidském sluchovém orgánu přibližně logaritmický. Tedy hodnota hlasitosti je závislá také na frekvenci.



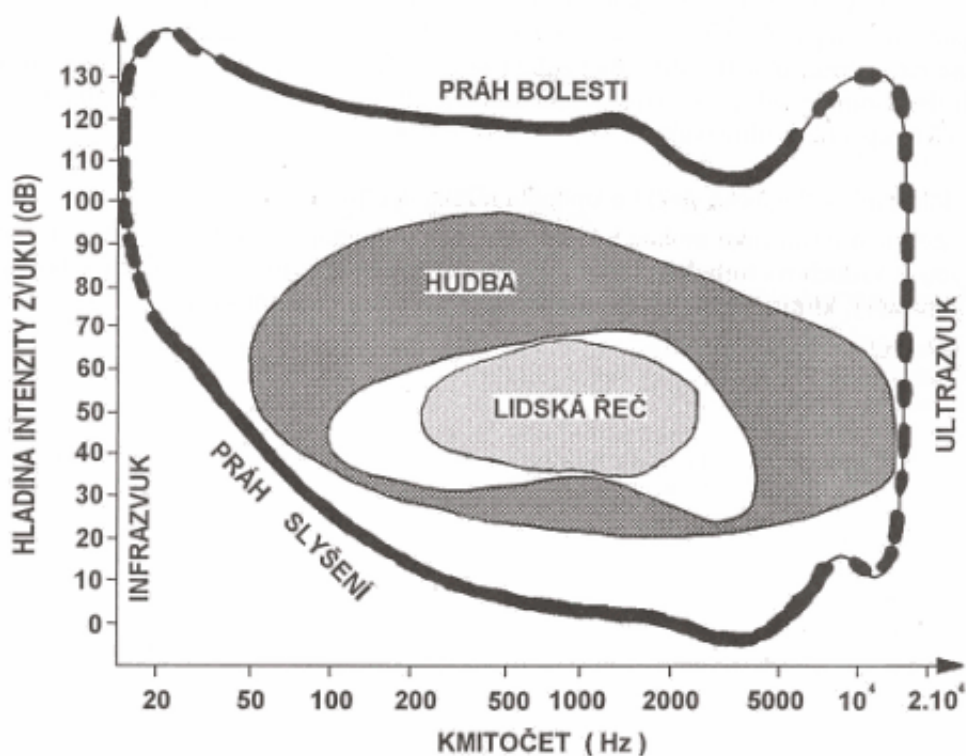
Obrázek 2 Odchytky citlivosti lidského ucha [2]

Na obrázku č. 2 vidíme odchylku citlivosti lidského ucha od referenční úrovně 90 fónů. Dynamika akustického signálu je závislá na nelineárních vlastnostech sluchu.

Odchytky citlivosti lidského ucha jsou zde na obrázku udávány jako závislost kmitočtu (osa x) a Odchytky od 90 fónů (osa y). Jednotkou hladiny hlasitosti je totiž

fón. Hladina hlasitosti je vnímána lidským uchem a nazývána jako subjektivní hlasitost. Hladina hlasitosti jeden fón při frekvenci 1 kHz, je stejně velká jako jeden dB, což je jednotka hladiny zvuku, tj. 20krát logaritmus poměru akustického tlaku k referenční hodnotě akustického tlaku. Mezi další jednotky této subjektivní hlasitosti je udáván son.

Vlastnosti lidského ucha a sluchu byly zkoumány a zapsány až po akustický tlak 180 dB. Podle nejčastějších údajů z různých zdrojů je hranice 120 – 130 dB považována za práh bolesti. Nad touto hranicí totiž dochází ke změnám ve vnitřním uchu. Nad 170 dB už dochází k poškození bubínku a sluchových kůstek, což může vést až k ohluchnutí. Práh slyšitelnosti je 0 dB pro tón o frekvenci 1 kHz.



Obrázek 3 Rozsah sluchu [3]



## 2.3 Akustický tlak

Zvuk se přenáší nebo šíří akustickými vlnami, což je kmitání pružného prostředí jako je vzduch, ale také voda. Akustické vlny v každém bodě prostoru popisuje akustický tlak a rychlost částic. Akustický tlak je velmi malé kolísání tlaku kolem střední hodnoty, kterou považujeme za barometrický tlak. Tento barometrický tlak je o mnoho řádů větší, než je amplituda akustického tlaku.

Akustický tlak má frekvenční rozsah přibližně od 20 Hz do 20 kHz. Akustický tlak měříme v jednotkách tlaku, to je v pascálech (Pa). Akustický tlak má velký dynamický rozsah, proto pro zjednodušení používáme logaritmy akustického tlaku, které se nazývají decibely a označují jako hladina akustického tlaku.

Přesněji lze uvést, že zvuk se ve vzduchu šíří podélným vlněním. Podélné vlnění probíhá kromě vzduchu i v kapalném a pevném prostředí tak, že částice pružného tělesa kmitají ve stejném směru v jakém se šíří zvukové vlny. Kromě podélného vlnění existují ještě další dva druhy vlnění a to. V příčném vlnění částice tělesa kmitají kolmo na směr šíření zvukové vlny. Tento typ vlnění vzniká například na vodní hladině, nebo i v pevných tělesech, které jsou ve tvaru tyčí a vláken. Ohybové vlnění se vyskytuje u desek a tyčí, u předmětů které mají jeden, či dva rozměry větší než, ostatní. Je to vlnění složené z podélného a příčného vlnění.

### 2.3.1 Hluk

Zvuk je obecné označení, v praxi častěji hovoříme o libých zvucích jako je hudba, zpěv a řeč nebo o hluku, který ruší. V hudbě jde o soubor čistých tónů, úderů do bubnu, činelů a rumba kouli. Hluk je naproti tomu rušivý a je vyzařován stroji nebo dopravními prostředky.

Dělení hluku z hlediska frekvenční analýzy je na tonální hluk a šum. Tonální hluk se skládá ze souboru izolovaných sinusových složek s určitou frekvencí a amplitudou. Šum obsahuje široké spektrum nedominujících složek, v běžném smyslu nějaké hlukové, či zvukové znečištění. V zpracovávání signálu šum představuje data, která nemají významu, tedy data, která nejsou použita pro přenos signálu a jsou jen produkována jako nechtěný vedlejší produkt jiných aktivit, měření, nebo přenosů.

### 2.3.2 Měření akustického tlaku

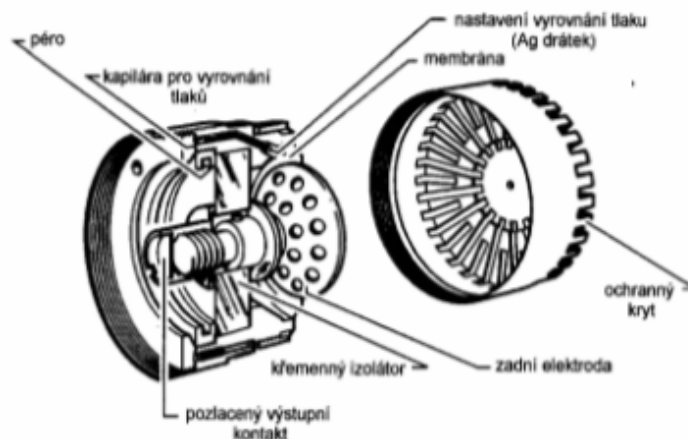
Měření akustického tlaku, zvuku, či hluku, provádíme mikrofony. Akustický tlak vyhodnocujeme zvukoměry, které obsahují mikrofon, frekvenční váhové filtry a obvody pro výpočet hladiny akustického tlaku. Zvukoměry vyhodnocují okamžitou hladinu akustického tlaku nebo ekvivalentní hladinu za určitý časový interval.

#### a) Mikrofon

Mikrofony dělíme do dvou skupin a to na elektrodynamické a kapacitní. Elektrodynamické mikrofony jsou pro všeobecné použití a jejich hlavní předností je nízká cena, jsou velmi levné. Naproti tomu mikrofony kapacitní už jsou dražší a to hlavně proto, že to jsou mikrofony měřicí (měřicí technika).

Mikrofony se označují průměrem v palcích. To znamená, že mikrofony s malým průměrem jsou určeny pro silné hluky, jsou málo citlivé a mikrofony s velkým průměrem se používají na slabé hluky, mají malý rozsah frekvencí. Největší průměr mikrofону je jeden palec, další jsou 1/2 palcové, 1/4 palcové, 1/8 palcové.

Mikrofon je nejdůležitější část měřicího řetězce. Je to vlastně snímač, který nám převádí změny akustického tlaku na jiné veličiny. Vhodnými mikrofony pro měření jsou kondenzátorové mikrofony.



Obrázek 4 Kapacitní mikrofon [4]

Kapacitní mikrofony jsou velmi konstrukčně jednoduché oproti jiným druhům mikrofónů. Dále jsou vysoce citlivé, což se při měření hodí a ocenit bychom jistě měli jejich provozní stálost.

Měření mikrofonom nám znepříjemňují přírodní vlivy, které mají na mikrofon určitý vliv a které musíme eliminovat. Například vítr, lze eliminovat speciálním krytem (windscreen), nutná je ochrana proti mechanickému chvění. Teplotní rozsah by se měl pohybovat v rozmezí  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Naopak elektrostatická a magnetická pole mají na mikrofon zanedbatelný vliv.



Obrázek 5 Studiový mikrofon v řezu [5]

Na obrázku je zobrazen mikrofon studiový. Takovýmto mikrofonom neměříme, ale můžeme se s nimi setkat v běžném životě, například v hudebních produkcích a veřejných akcích.

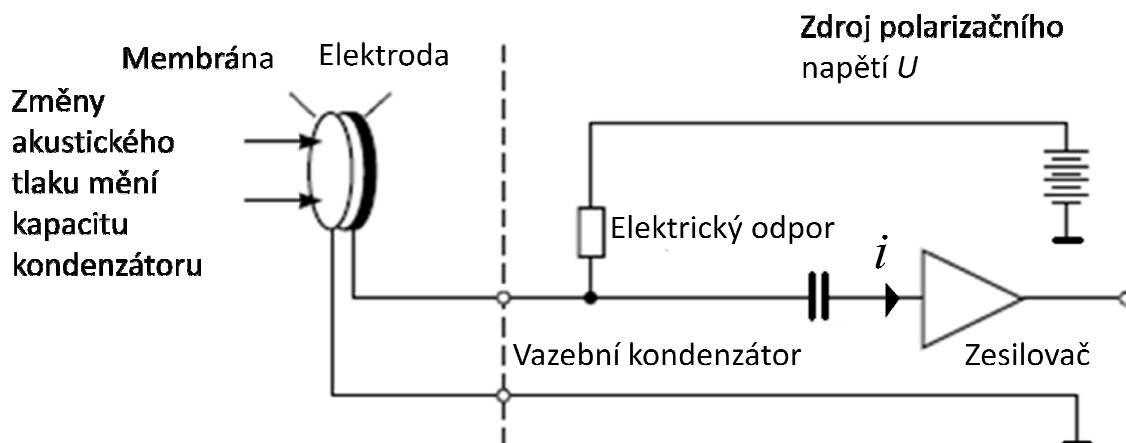
#### **b) Mikrofon s předzesilovačem**

Mikrofon s předzesilovačem má velmi nízký šum, vysokou vstupní impedanci a nízkou výstupní impedanci.



Obrázek 6 Mikrofon typu 4190 a předzesilovač [6]

Na následujícím obrázku je zobrazeno schéma mikrofону s předzesilovačem.



Obrázek 7 Mikrofon s předzesilovačem [6]

### c) Zvukoměr

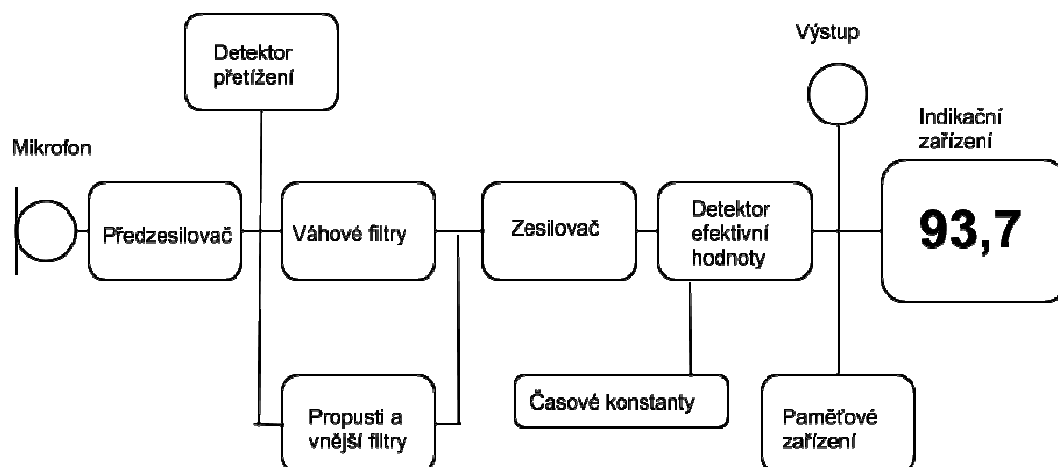
Měřicí přístroj, který je přesný, reaguje na zvuk podobně jako lidské ucho. Zvukoměr umožňuje objektivní měření hladin hluku, které je dále reprodukovatelné.



Obrázek 8 Zvukoměr [7]

Stavba zvukoměrů se může lišit v detailech konstrukčních prvků a provedení, ale všechny obsahují mikrofon, jednotku pro zpracování signálů a indikační měření.

Existuje řada rozdělení zvukoměrů, pro představu dělení podle frekvenční analýzy, počtu měřících kanálů, typu konstrukce, formy výstupu, podpory softwaru, atd.



Obrázek 9 Schéma zvukoměru

#### d) Rozdělení typů mikrofonů podle typu zvukového pole

Zvukové pole zahrnuje procesy kmitání, které vznikají a také existují v stálém a přímém spojení s hmotou. Dělení polí je důležité až nad hodnotu 5 kHz, protože do 5 kHz vyhovují všechny.

- **Volné pole** (Free fiel) - vzniká při šíření zvuku bez překážek.
- **Difuzní pole** (random incidence, diffuse) - charakterizováno šířením vln všemi směry a hladinami se stejnou pravděpodobností.
- **Tlakové pole** (pressure field) - akustický tlak má ve všech bodech pole stejnou amplitudu a fázi.

Pro každý typ pole je uzpůsobena frekvenční charakteristika mikrofonu. Tedy typy free-field microphone, random incidence (diffuse) microphone, pressure microphone. Všechny tyto tři typy mikrofonů se liší ve frekvenční charakteristice pro vysoké frekvence a to tehdy, když jsou rozměry mikrofonu srovnatelné s vlnovou délkou. V takovém případě záleží na úhlu dopadu vzhledem k ose mikrofonu. Mikrofon zesiluje vysoké frekvence. Frekvenční charakteristiku free-field mikrofonů je třeba pro vysoké frekvence korigovat, aby nebyly neúměrně zesíleny tyto složky spektra. Frekvenční charakteristika se koriguje pro měření s polohou mikrofonu orientovaného osou přímo ke zdroji hluku.

#### e) Váhové filtry

Váhové filtry přizpůsobují frekvenční charakteristiku signálu, který měříme, citlivosti lidského sluchu, ucha. Křivky používají decibely, které jsou definovány takto



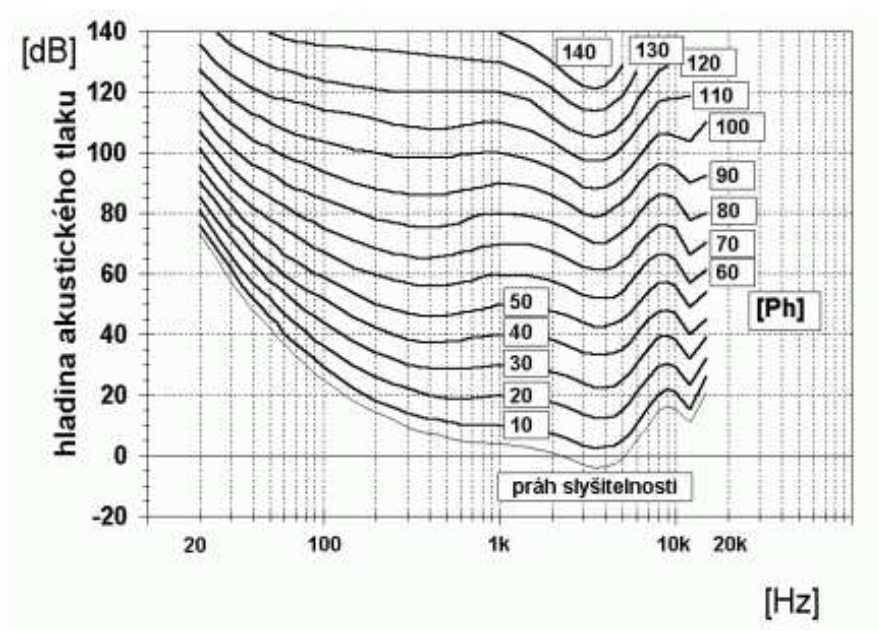
$$L_p = 10 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right) [dB, Pa, Pa], \quad p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \quad (1)$$

kde je

$p$  efektivní hodnota akustického tlaku

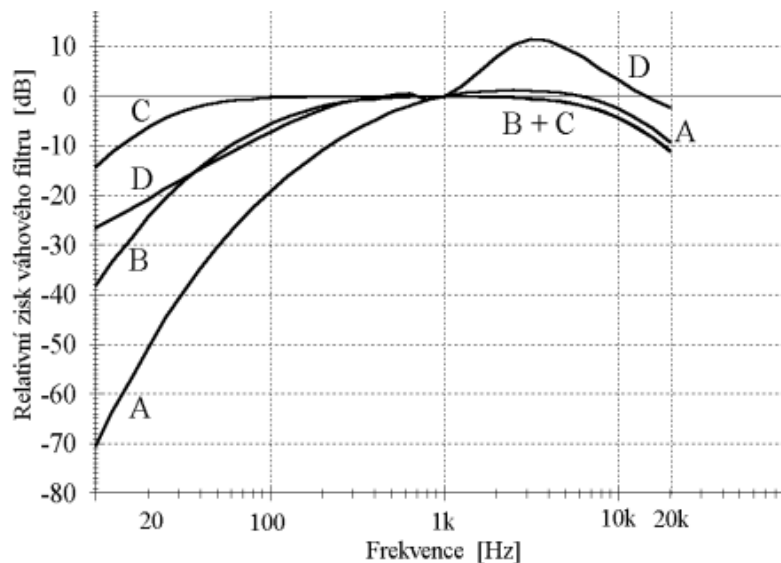
$p_0$  referenční hodnota akustického tlaku

Práh slyšitelnosti je úroveň hlasitosti, pod kterou není lidské ucho schopno zaznamenat jakýkoli zvuk. Práh slyšitelnosti je závislý na stavu sluchového aparátu daného člověka. Obecně je definován jako smluvní vztahná hodnota hladiny intenzity zvuku (při frekvenci 1 kHz) akustického tlaku vůči tlaku atmosférickému ( $p_0 = 2 \cdot 10^5$  Pa. Pro dospělé má práh sluchu referenční úroveň hlasitosti velikost 0 decibelů (dB). Práh slyšitelnosti na jednom kHz odpovídá 0 dB, zatímco práh slyšitelnosti při 20 Hz je 70 dB. Amplituda je asi 3000 krát větší.



Obrázek 10 Váhové filtry [8]

Tyto filtry se používají hlavně při měření celkových hladin hluku, ale také i pro spektrum hluku. Máme čtyři standardizované hladiny a to hladiny A, B, C a D.



Obrázek 11 Standardizované hladiny [8]

## 2.4 Akustické veličiny

Lokální změny tlaku ve zvoleném místě představuje akustický tlak. Přenos vlnění popisuje intenzita zvuku, což je výkon procházející jednotkovou plochou. Akustický tlak a intenzita jsou střídavé veličiny. Za zvolený časový interval se změny okamžitého akustického tlaku popisují směrodatnou odchylkou, což je veličina RMS. Intenzitu zvuku naopak popisujeme střední hodnotou výkonu. Při měření akustického tlaku tedy využíváme technické veličiny akustického tlaku a zajímáme se také o frekvenční složení zvuku. Akustický tlak a intenzita mají velký dynamický rozsah a proto se v praxi dává přednost logaritmům těchto veličin, nazývaných decibely. Jestliže se uvádí hodnoty akustického tlaku nebo intenzity v decibelech, pak se píše, že jde o hladinu akustického tlaku nebo intenzity.

Protože různé zvuky, či hluky mají různé kmitočty a lidské ucho, stejně jako měřicí přístroje mají jiné rozsahy a možnosti, byla stanovena tzv. váhová křivka A. U této křivky je třeba korigování kmitočtového průběhu hladiny akustického tlaku. Výslednou hodnotou je potom tzv. hladina akustického tlaku A.

### a) Frekvence zvuku

Člověk vnímá frekvence jako výšku tónu. Definice frekvence zvuku je počet kmitů za jednu sekundu, kde je počtem kmitů myšlen počet periodických změn akustického tlaku. Frekvence má jednotku hertz [Hz] a s vlnovou délkou a rychlostí zvuku úzce souvisí.

Vztah pro frekvenci je

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T} [\text{Hz}] \quad (2)$$

kde je

$c$  rychlost zvuku v prostředí [m/s]

$\lambda$  vlnová délka [m] – délka, kterou za jeden kmit urazí vlna zvuku

$T$  perioda [s], tedy doba jednoho kmitu

### **b) Intenzita zvuku**

Akustický výkon  $P$  je součin rychlosti částic prostředí a akustického tlaku. Rychlost je vektor a tlak skalár. Intenzita zvuku je proto veličina vektorová se směrem shodným se směrem šíření kmitání, tj. zvuku. S ohledem na fyzikální jednotky lze uvést, že intenzita zvuku je akustický „výkon“, který projde jednotkovou plochou. Značí se  $I$  a jednotkou je  $[\text{W}/\text{m}^2]$ .

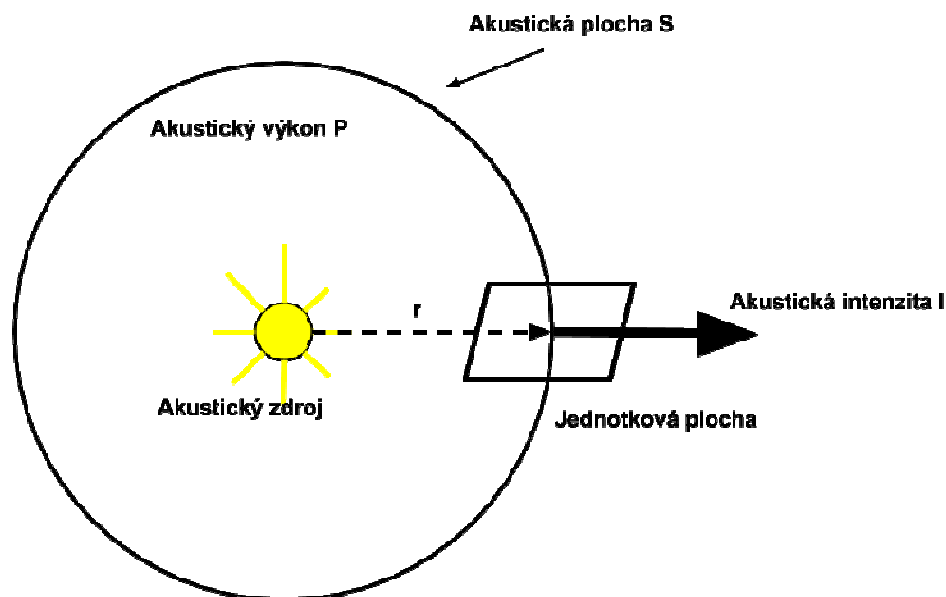
Matematické vyjádření intenzity zvuku

$$I = \frac{P}{S} [\text{W}/\text{m}^2] \quad (3)$$

kde je

$P$  akustický výkon zdroje, je energie vyzářená jako akustické vlny.

$S$  uzavřená plocha (celková), plně obklopuje vyzářený akustický výkon



Obrázek 12 Akustická intenzita

S intenzitou zvuku souvisí také hladina intenzity zvuku, která je násobkem logaritmu poměru mezi skutečnou intenzitou zvuku a referenční velikostí intenzity zvuku. Tato hranice je smluvně značí se  $I_0$  a je určena tak, aby se decibely akustického tlaku a intenzity skoro shodovaly. Velikost referenční hodnoty akustické intenzity je  $10^{-12} [W/m^2]$ .

Matematický vztah pro hladinu intenzity zvuku je

$$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad (4)$$

### c) Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku udává míru vnímání hlasitosti zvuku tak, jak je změřena mikrofony. Je udávána v decibelech [dB] a vyjadřuje poměr mezi skutečnou hodnotou akustického tlaku a referenční velikostí akustického tlaku. Tato hranice je opět smluvně určena, značí se  $p_0$  a její hodnota je  $2 \cdot 10^{-5}$  Pascalů [Pa].

Hladina akustického tlaku a hladina intenzity zvuku mají zhruba stejné hodnoty, pokud je hladina intenzity zvuku sledována ve volném poli, jakým se šíří zvuk.

#### d) Akustické spektrum

Velikosti akustických veličin, jako jsou hladiny, jsou obecně závislé na frekvenci  $f$ . Výsledkem jsou frekvenční spektra příslušných akustických veličin. V praxi se obvykle nepožaduje přesná znalost spekter k určení celkové hlučnosti. V těchto případech se zavádí kmitočtová pásma o procentuelní konstantní šířce. Tuto podmínku splňují oktávová nebo třetino - oktávová kmitočtová pásma.

Spektra se vypočtou s použitím Fourierovy transformace. Spojitému signálu odpovídají spojitá spektra. Prakticky lze vypočítat jen diskrétní spektrum s využitím diskrétní Fourierovy transformace.

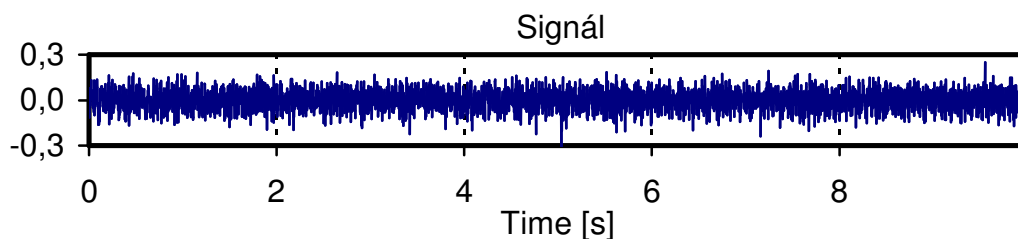
Spektrum akustického tlaku má na vodorovné ose frekvenci a na svislé ose buď efektivní hodnotu RMS nebo výkon PWR anebo výkonovou spektrální hustotu PSD. Jednotky jsou v pascálech pro RMS,  $\text{Pa}^2$  pro výkon a  $\text{Pa}^2/\text{Hz}$ . Svislá osa spektra může být také v bezrozměrných decibelech.

Tonální zvuky obsahují ve svém spektru soubor dominantních složek. Některé složky jsou harmonické, to znamená, že mají určité základní frekvence. Šum, je naproti tomu bez dominantních složek, sousední frekvenční složky jsou skoro identické. Tonální zvuk obsahuje skoro vždy šum v pozadí, dominantní složky však vystupují nad úroveň šumu.

Výsledkem Fourierovy transformace je spektrum se stejnou frekvenční vzdáleností frekvenčních složek. Někdy je označujeme jako Fourierovo spektrum, avšak používáme jednotky RMS nebo PWR anebo PSD. Spektrum lze vyhodnotit také s použitím pásmových filtrů. Protože použité filtry mají konstantní relativní šířku propustného pásma označující se jako CPB, což znamená procentuální pásmový obsah (constant percentage band). Podle šířky pásma se dělí na oktávové, třetino - oktávové a další ( $1/6$ ,  $1/12$ ,  $1/24$ ).

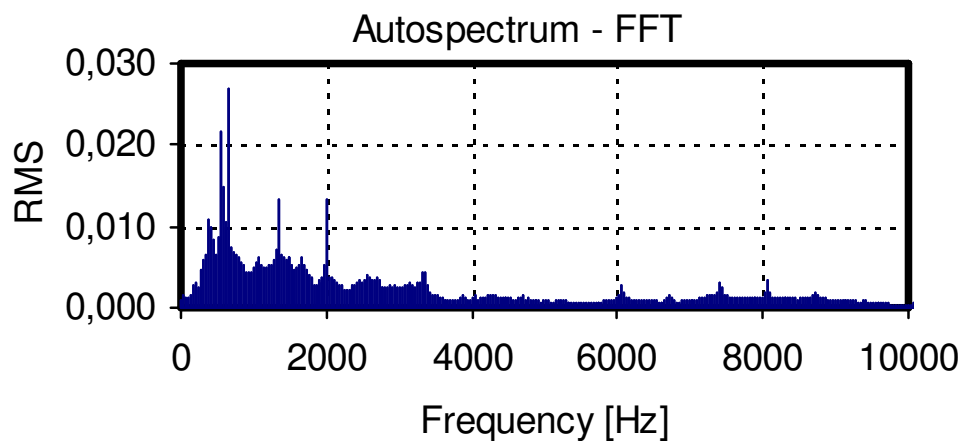
Série obrázků spekter FFT, oktávového a třetino - oktávového pásma ukazují příklady autospekter na náhodném signálu.





Obrázek 13 Náhodný signál

FFT spektrum je složeno z pásmových filtrů CPB. Na obrázku vidíme autospektrum pro rychlou Fourierovu transformaci (FFT).



Obrázek 14 FFT spektrum

FFT analyzátory jsou založeny na použití algoritmu FFT. Zpracování signálu je organizováno opakováním výpočtů po záznamu vzorků. Analyzátory CPB pracují na principu pásmových propustí. CPB analyzátory mají konstantní, relativní šířku pásma.

$$\delta = \frac{\Delta f}{f_c} \quad (5)$$

$$\Delta f = f_H - f_L \quad (6)$$

$$f_c = \sqrt{f_H * f_L} \quad (7)$$

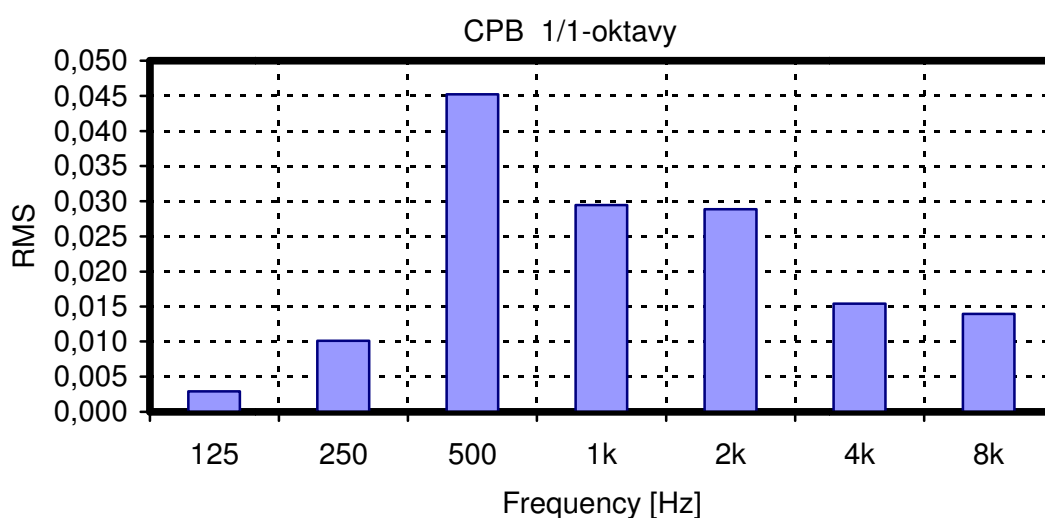
kde je

$\delta$  relativní šířka pásma

$\Delta f$  šířka pásma

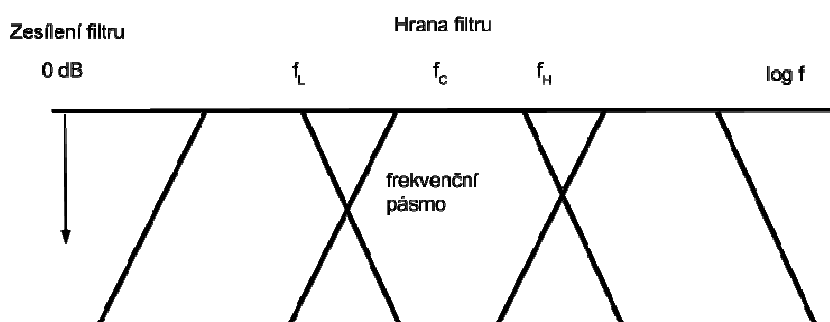
$f_c$  střední frekvence

Oktávová (resp. třetinooktávová) pásma se zavádí z důvodu zjednodušení frekvenčních spekter akustických veličin, aniž se tím příliš změní přesnost spekter k určení celkové hlučnosti.



Obrázek 15 1/1 oktavové spektrum

Analyzátoři PCB pracují na principu pásmových propustí. Na obrázku je zobrazeno, že se frekvenční pásma filtrů dotýkají.



Obrázek 16 Hrany filtrů [6]

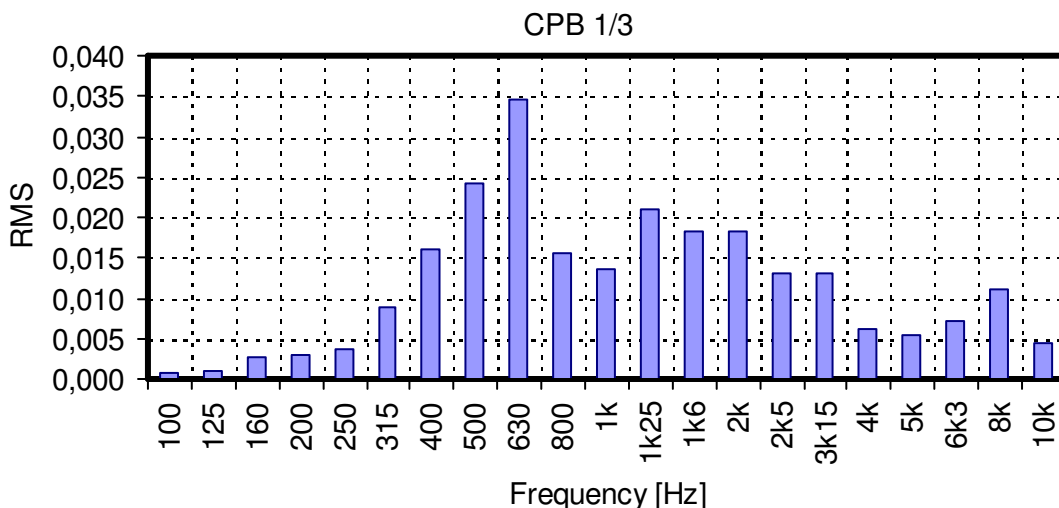
Centrální frekvence 1/3-oktávových pásem propustnosti filtru tvoří geometrické posloupnosti s kvocientem, který je roven  $2^{1/3}$ . Aby bylo dosaženo dělení s deseti třetino - oktávovými pásmy na dekádu frekvencí, je kvocient aproximován na hodnotu  $10^{1/10}$ . Střední frekvence pásem se zaokrouhlí na výsledný počet cifer 3.

**Tabulka 1 Rozdělení oktávových spekter a 1/3 - oktávových pásem**

1/3 – oktávové filtry					$f_c(k) = 10^{\frac{1}{10}}, f_c(k-1)$				
0.1	0.125	0.16	0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8
1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8
10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
1k	1k25	1k6	2k	2k5	3k15	4k	5k	6k3	8k
10k	12k5	16k	20k	-	-	-	-	-	-

1/1 – oktávové filtry					$f_c(k) = 10^{\frac{3}{10}}, f_c(k-1)$				
-	-	-	-	-	-	-	0.125	0.25	0.5
1	2	4	8	16	31.5	63	125	250	500
1k	2k	4k	8k	16k	-	-	-	-	-

Třetino - oktávové pásmo vznikne rozdělením oktávového pásma na třetiny v logaritmických souřadnicích.



**Obrázek 17 1/3 - oktávové spektrum**

## 2.5 Typy akustického signálu

Dynamika akustického signálu se často omezuje jen na zdroj akustického signálu a vliv prostředí, ve kterém se dynamika mění.

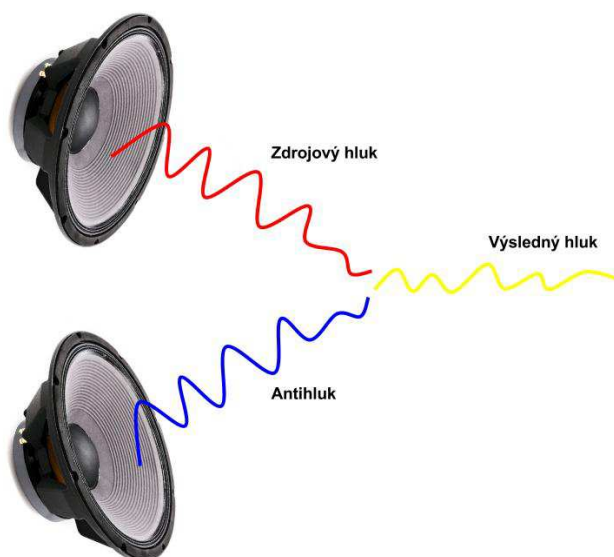
S pojmem dynamiky signálu se nejčastěji setkáváme u elektroakustického řetězce a jeho částí. Běžně se vyjadřuje v decibelech [dB]. Zdrojem je akustický signál, který se následně mění v signál elektrický, ten je dále možno upravovat, zaznamenávat, či snímat. Zakončením tohoto elektroakustického řetězce může být opět přeměna na akustický signál.

Průchod elektrického signálu elektroakustickým řetězcem má různá omezení. Například:

- Šum – slabé signály se ztratí v šumu a jiném rušení
- Přenosové schopnosti řetězce – velmi silné signály jsou omezeny

## 2.6 Aktivní metody potlačování hluku

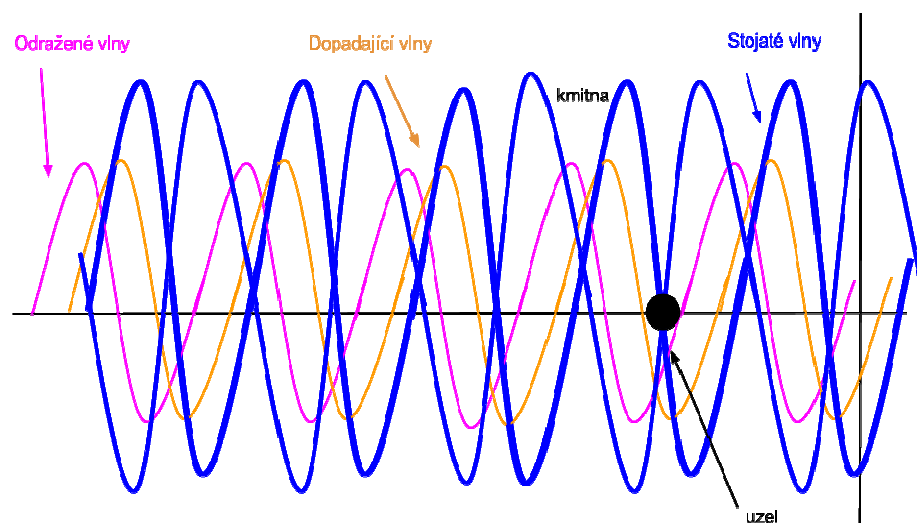
Zvuk obecně je tlaková vlna. Tato vlna se skládá ze dvou fází a to z kompresní fáze a fáze ředění. K potlačení šumu, hluku jsou z reproduktoru vydávány zvukové vlny, které mají stejnou amplitudu, ale opačnou, obrácenou fázi, což způsobí její vzájemné zrušení.



Obrázek 18 Tlakové vlny

Principem aktivního potlačování hluku je proto vytvoření protivlny, neboli antihluku. Protivlna má vlastnost potlačující vlny. Fáze protivlny je obrácená, amplituda i frekvence zůstávají stejné. Vlny dohromady tvoří novou vlnu v procesu zvaném interference, a účinně se navzájem vyruší.

Nejčastěji se zvuk šíří ve vzduchu, který je všude kolem nás. Při aktivním potlačování hluku bude vzduch rozvlněný minimálně. Důvodem malého rozvlnění vzduchu, je potlačení vycházející protivlnou.



Obrázek 19 Zvukové vlny

Z obrázku je vidět, že potřebujeme, aby byla vytvořena protivlna, která by zajistila, že stojaté vlnění bude co nejmenší, tedy součet amplitud byl roven nule.

Moderní řízení aktivní hluku se obvykle dosahuje pomocí analogových obvodů nebo digitálního zpracování signálu. Adaptivní algoritmy jsou navrženy tak, aby analyzovali tvary vlny zvukové pozadí, nebo monofonního hluku. Specifický algoritmus generování signálu, pracuje s fázovým posunem, nebo invertní polaritou původního signálu. Signál s opačnou fází je poté zesílen a snímač vytváří zvukové vlny přímo úměrné amplitudě původního tvaru vlny, vytváří se destruktivní interference. Toto účinně redukuje objem vnímatelné hluku.

Aktivní potlačování hluku lze uplatňovat jen v prostoru sluchátek proti hluku zvenčí, atd., či potrubích například klimatizace, kde hluk způsobuje ventilátor. Aktivní potlačování hluku se uplatňuje například u sedadel v dopravních prostředcích, jako jsou letadla, kde máme na každé straně hlavy reproduktor. Letadlo produkuje hluk,

z reproduktorů je vysílán antihluk, který ruší hluk okolí. Pokud se však nahneme dále od opěradla, slyšíme okolní hluk bez rozdílu. Z toho vyplývá, že antihluk vysílaný z reproduktorů kolem hlavy nemá až tak velký dosah.

### **2.6.1 Unikátní metoda potlačování hluku**

Na princip této metody přišli japonští vědci z Kobayasi Institute of Physical Research. Běžně se pro detekci potlačovaného hluku používá senzor. Tento signál je následně zpracováván elektronicky a dále je předán do sluchátka, který vytvoří akustickou vlnu na zrušení hluku, či vibrací, které působí vně sluchátka.

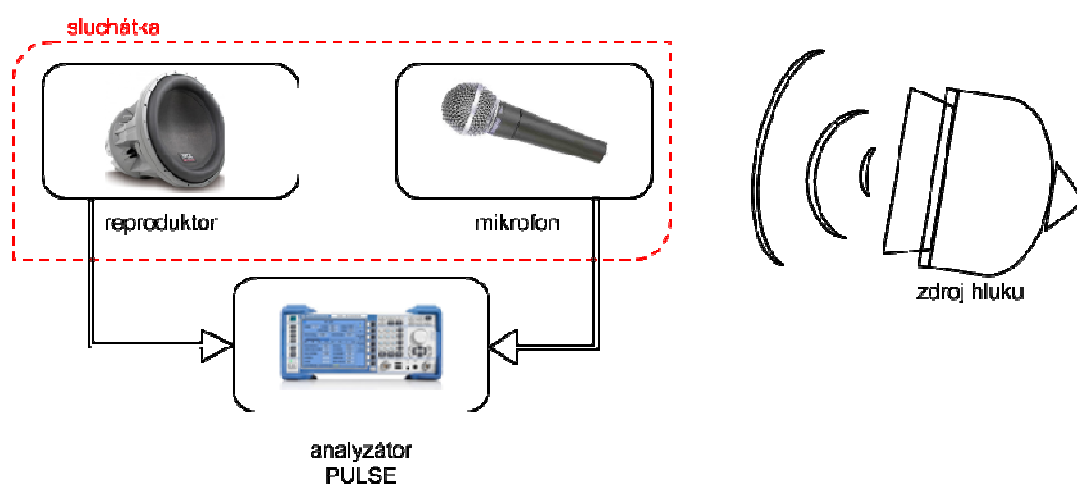
Princip spočívá v použití piezoelektrického materiálu. Pak prý stačí k detekci i zpracování jen jeden prvek. Piezoelektrický materiál funguje jako mikrofon i sluchátko zároveň.

V této metodě se tedy nevytváří akustická protivlna, která zruší přicházející hluk, či vibrace. Ale piezoelektrickým zařízením se vytvářejí mechanické podmínky, které zamezí průchodu akustického tlaku.

Výhody spočívají v jednoduchém tlumení přenosu zvuku ve velmi široké frekvenční oblasti. Zajímavou výhodou je možnost přeměny části energie procházejícího hluku v energii elektrickou, toto se dá použít pro snížení nároků na napájení celého systému.

### 2.6.2 Metoda realizovatelná v podmínkách univerzity

Měření realizovatelné v podmínkách laboratoří univerzity je měření na sluchátkách Sennheiser PXC 450. Úloha spočívá v pasivní analýze funkčnosti sluchátek. Jelikož sluchátka obsahují odborně připojené BNC konektory, je možno je připojit k jiným zařízením, analyzátoru. Konektory lze připojit například k zařízení dSPACE, nebo také analyzátor PULSE, který byl použit. Obě tato zařízení má univerzita k dispozici. Jednoduché schéma této úlohy je zobrazeno na obrázku.

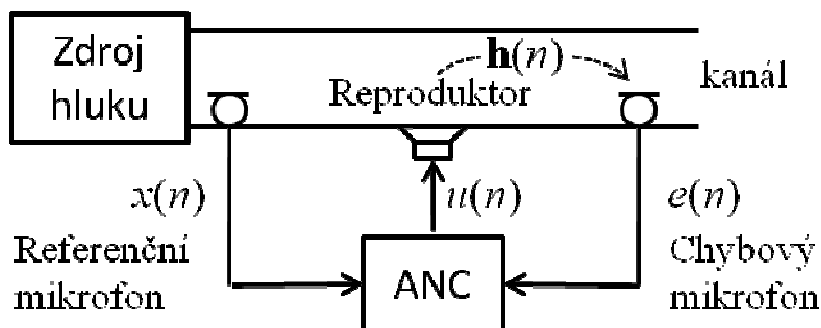


Obrázek 22 Schéma úlohy VŠB – TUO

### 3 Funkce adaptivních filtrů a jejich využití v systémech potlačování hluku.

Je třeba vysvětlit, co to ten adaptivní filtr vlastně je. Je to lineární systém s přenosovou funkcí, která je ovlivňována prostřednictvím změny parametrů filtru podle optimalizačního algoritmu. Adaptivní filtry jsou digitální, a to proto, že optimalizační algoritmy jsou velmi složité.

Obečné blokové schéma pro adaptivní filtr je znázorněno na obrázku. Slouží pro konkrétní realizaci adaptivního filtru, nejmenších čtverců (LMS - Least Mean Squares) a rekurzivních nejmenších čtverců (RLS - Recursive Least Squares).



Obrázek 20 Schéma aktivního potlačování hluku [6]

Na obrázku vidíme schéma aktivního potlačování hluku. Zdroj hluku vysílá zvuky do potrubí nebo kanálu, kterým se šíří nežádoucí hluk, například ventilátoru klimatizace.

Vstupní signál je součtem požadovaného signálu  $d(n)$  a rušivého zvuku  $v(n)$  v časovém okamžiku  $n$ .

$$x(n) = d(n) + v(n) \quad (8)$$

Proměnný filtr má strukturu FIR (Finite Impulse Response) filtru. U takových struktur mají vzorky impulzní odezvy stejné hodnoty jako koeficienty filtrů, a proto je jich konečný počet. Koeficienty pro filtr řádu  $p$  v době okamžiku  $n$  jsou definovány jako

$$w_n = [w_n(0), w_n(1), \dots, w_n(p)]^T \quad (9)$$

chybový signál, nebo nákladová funkce se rovná rozdílu mezi požadovanou a předpokládanou hodnotou signálu

$$e(n) = d(n) - \hat{d}(n) \quad (10)$$



kde

$$x(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-p)]^T \quad (11)$$

Adaptivní filtr aktualizuje koeficienty filtru v každém časovém okamžiku

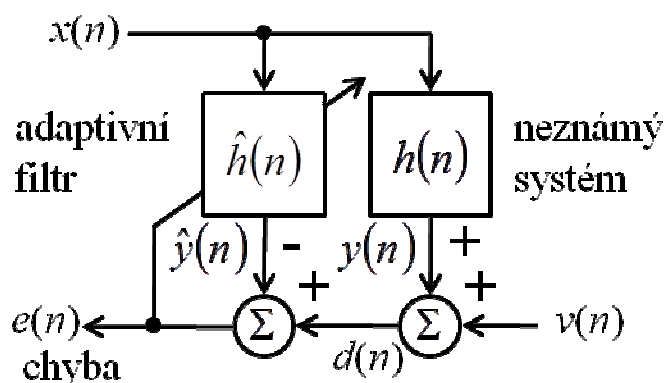
$$w_{n+1} = w_n + \Delta w_n \quad (12)$$

Adaptivní filtry používají ve zpětné vazbě chybový signál, aby zpřesnil přenosovou funkci (Transfer function). Kritériem pro optimální výkon adaptivního filtru je použití nákladové funkce v uzavřené smyčce. Nejběžnější nákladová funkce chybového signálu je funkce střední kvadratická.

Adaptivní filtry se stávají čím dál tím víc běžné. Důvodem tohoto trendu je zvýšení a nárůst digitálních signálových procesorů. Toto dále vede k tomu, že už se používají v běžných zařízeních, jakými se staly mobilní telefony a další komunikační zařízení. Používají se také v digitálních fotoaparátech, videokamerách a co je důležitější v zdravotnických monitorovacích zařízeních.

### 3.1 Algoritmus LMS

Algoritmus LMS je třídou adaptivních filtrů, které se používají k napodobení požadované hodnoty filtru tím, že najde koeficienty filtru, které se vztahují k nejmenším středním mocninám chybového signálu (rozdíl mezi požadovanou a skutečnou signálu). Adaptivní filtry se snaží přizpůsobit filtr tak, aby byl co nejblíže k neznámému systému  $h(n)$ , při použití pouze pozorovatelné signálů  $x(n)$ ,  $D(n)$  a  $E(n)$ , ale  $y(n)$ ,  $v(n)$  a  $h(n)$  nejsou bezprostředně pozorovatelné.



Obrázek 21 Schéma LMS algoritmu [6]

## Definice proměnných

$$x(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-p+1)]^T \quad (13)$$

$$h(n) = [h_0(n), h_1(n), \dots, h_{p-1}(n)]^T \quad (14)$$

$$y(n) = h^T(n)x(n) \quad (15)$$

$$d(n) = y(n) + v(n) \quad (16)$$

$$e(n) = d(n) - \hat{y}(n) = d(n) - \hat{h}^T(n)x(n) \quad (17)$$

Myšlenka LMS filtrů je použití nejprudšího sestupu k vyhledání váhových filtrů  $h(n)$ , které minimalizují nákladovou funkci. Začneme tím, že definuje nákladovou funkci jako

$$C(n) = E\{|e(n)|^2\} \quad (18)$$

kde  $e(n)$  je chyba v aktuálním vzorku  $n$  a  $E\{\dots\}$  označuje očekávanou hodnotu.

**3.1.1 Derivace**

Základní myšlenka LMS filtrů je použití algoritmu nejstrmějšího sestupu (Steepest descent algorithm) k vyhledání váhových filtrů  $h(n)$ , které minimalizují nákladovou funkci. Nákladová funkce  $C(n)$  je střední kvadratická chyba. Tato chyba je minimalizována pomocí LMS. Pro použití největšího spádu musíme počítat s parciálními derivacemi, vzhledem k jednotlivým vektorovým koeficientům vstupu filtru.

$$\nabla_h C(n) = \left[ \frac{\partial C(n)}{\partial h(n)}, \dots, \frac{\partial C(n)}{\partial h(n)} \right]^T \quad (19)$$

Použití přechodu provozovatele získáme z matice vztah

$$\nabla_h C(n) = \nabla_h E\{e(n)e(n)\} = 2E\{e(n)\nabla_h(e(n))\} \quad (20)$$

kde

$$\nabla_h e(n) = \nabla_h (d(n) - \mathbf{h}^T(n)x(n)) = -x(n) \quad (21)$$

$$\nabla_h C(n) = -2E\{e(n)x(n)\} \quad (22)$$

Pokud chcete najít minimum nákladové funkce, musíme učinit krok v opačném směru gradientu  $C(n)$ . Matematicky vyjádřeno

$$\hat{\mathbf{h}}(n+1) = \hat{\mathbf{h}}(n) - \frac{\mu}{2} \nabla_{\hat{\mathbf{h}}^T} C(n) = \hat{\mathbf{h}}(n) + \mu E\{e(n)\mathbf{x}(n)\} \quad (23)$$

U většiny systémů, musí být očekávaná funkce aproximována. To lze provést pomocí tohoto nezkresleného odhadu

$$E\{e(n)\mathbf{x}(n)\} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} e(n-i)\mathbf{x}(n-i) \quad (24)$$

kde  $N$  udává počet vzorků, které používáme pro tento odhad. Nejjednodušším příkladem je případ  $N = 1$ .

$$E\{e(n)\mathbf{x}(n)\} = e(n)\mathbf{x}(n) \quad (25)$$

Z tohoto jednoduchého příkladu získáme nový algoritmus, který vypadá následovně

$$\hat{\mathbf{h}}(n+1) = \hat{\mathbf{h}}(n) + \mu e(n)\mathbf{x}(n) \quad (26)$$

### 3.1.2 Konvergence a stabilita

Předpokládáme, že pro filtr platí  $\mathbf{h}(n) = \mathbf{H}$ , tedy je konstantní. Vstupní signál  $\mathbf{x}(n)$  je stacionární, to znamená, že se v čase nemění.  $E\{\mathbf{h}(n)\}$  se přibližuje k  $\mathbf{h}$ , jako  $n$  se blíží k nekonečnu pouze tehdy, když

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda} \quad (27)$$

kde  $\lambda_{\max}$  je největší vlastní číslo autokorelační matice

$$\mathbf{R} = E\{\mathbf{x}(n)\mathbf{x}^T(n)\} \quad (28)$$

Pokud není tato podmínka splněna, algoritmus se stává nestabilním a  $\mathbf{h}(n)$  diverguje, odchyluje se. Praktičtější je použití

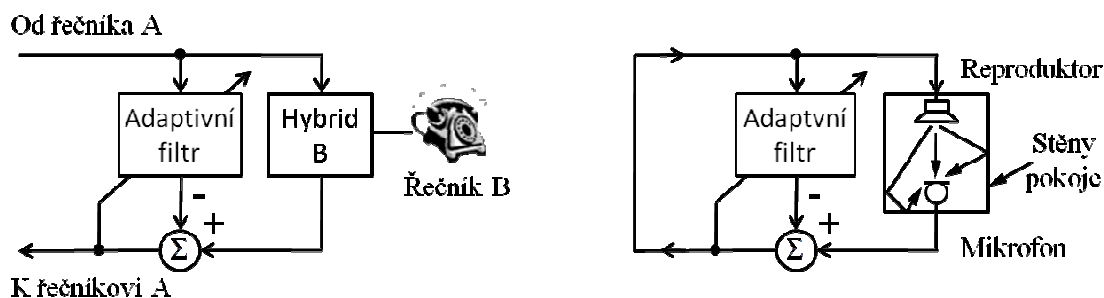
$$0 < \mu < \frac{2}{\text{tr}(\mathbf{R})} \quad (29)$$

kde  $\text{tr}(\mathbf{R})$  je aktuální hodnota matice  $\mathbf{R}$ .

### 3.2 Echo rušení

Můžeme předpokládat, že kupříkladu signál  $d(n)$  je přenášen přes echo, hlučného kanálu, který způsobuje, že mají být přijaty jako

$$x(n) = \sum_{k=0}^q b_n(k)d(n-k) + v(n+1) \quad (30)$$



Obrázek 22 Schéma echa v telefonu [6]

### 3.3 Další použití adaptivních filtrů

Jak už bylo řečeno výše, adaptivní filtry se používají v různých zařízeních, které už patří k běžnému provozu a životu. Adaptivní filtry se ale používají také v dalších případech.

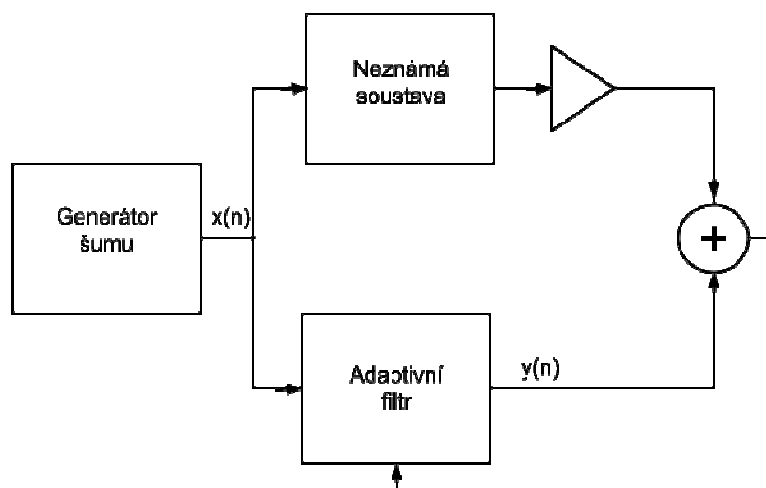
- Potlačení šumu
- Predikace signálu
- Identifikace neznámé soustavy
- Potlačení echa

Potlačení šumu se používá v medicíně, telekomunikaci, radiotechnice, měřicí technice a tak podobně.

- Radiotechnika – jde o takzvané filtrování „duchů“ obrazu.
- Medicína – jak už bylo zmíněno EKG. Další příklad, je měření tepu nenarozeného dítěte. Protože jeho tep ruší tep matky. Používáme tedy druhý mikrofon a ten snímá referenční signál, tedy ten rušivý a ten se poté odečítá. Jde vlastně o kompenzační metodu. Na obrázku lze vidět signál před a po odfiltrování.
- Telekomunikace – kompenzace zkreslení signálu na sdělovacím kanálu. Problémem je, že data se přenášejí různými kanály s různými frekvenčními charakteristikami. Z toho vyplývá, že je i zkreslení různé. Musíme tedy nastavit filtr, podle výsledků

měření parametrů kanálů. Problémem, ale stále zůstává jejich změna, dána například změnou teploty atd.

- Identifikace soustavy – použijeme adaptivní filtr dle schématu na obrázku. Až se ustálí adaptivní filtr, je frekvenční charakteristika neznámého systému shodná s charakteristikou filtru. Koeficienty adaptivního filtru potom odpovídají přenosové funkci neznámého systému. To znamená, že odpovídají koeficientům impulzní charakteristiky této neznámé soustavy.



Obrázek 23 Schéma identifikace adaptivní filtr [6]

## 4 Ověření účinků adaptivních filtrů simulacemi v Matlabu

Pro ověření účinky adaptivního filtru byl vybrán filtr LMS (Least Mean Squares). V prostředí Matlab, byl vytvořen program *MyLMS* jako M-file. Provedené simulace v Matlabu jsou pro úlohu bez nulovacího mikrofону. Ten je v programu nahrazen přenosovou funkcí.

Definice proměnných

$x$  – je testovací signál, který je vygenerován počítačem, nejčastěji sinusový signál.

$p$  – je řád FIR filtru, který adaptujeme. Řád FIR filtru je zvolen a musí být větší než přenos a také by měl být větší než zpoždění.

$\mu$  – určuje rychlost sestupu neboli klesání vykreslené křivky.

$h$  - je přenos je nahrazen FIR filtrem, protože v simulované úloze není nulovací mikrofón, jako v praxi.

### 4.1 Popis simulace

Abychom dokázali efekt LMS filtru bez nulovacího mikrofónu, volíme dopravní zpoždění  $[0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$ . Dopravní zpoždění nám zpožďuje vzorky.

Simulace programu *MyLMS* řeší úlohu, kde se koeficienty FIR filtru adaptují podle vzorce

$$\hat{\mathbf{h}}(n+1) = \hat{\mathbf{h}}(n) + \mu e(n)\mathbf{x}(n) \quad (31)$$

Když voláme funkci, proměnná  $x$  odpovídá obrázku. Veličina  $p$  je řád filtru s koeficienty

$$\hat{\mathbf{h}}(n) = [\hat{h}_0(n), \hat{h}_1(n), \dots, \hat{h}_{p-1}(n)]^T \quad (32)$$

Koeficienty „unkown system“ jsou

$$\mathbf{h}(n) = [h_0(n), h_1(n), \dots, h_{p-1}(n)]^T \quad (33)$$

Řád tohoto filtru je určen automaticky z délky vektoru, kterým se zadává přenos „unknown system“. Uvnitř procedury je označen  $q$ .

## Přenos

$$\mathbf{h}(n) = [h_0(n), h_1(n), \dots, h_{p-1}(n)] \quad (34)$$

je zadáván takto:

[1 0 0] – jednotkový přenos

[0 1 0] – jeden krok zpoždění

[0 0 1] – dva kroky zpoždění

[0 0 0.1 0.5 0.4 0] – příklad obecného přenosu

Funkce vrací e a koeficienty adaptovaného filtru.

Uvnitř funkce identifikátor X odpovídá vektoru

$$\mathbf{x}(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-p+1)]^T \quad (35)$$

zpožděným vzorkům posloupnosti  $x(n)$  a identifikátor XX jsou zpožděné výstupy také posloupnosti  $x(n)$  pro výpočet výstupu unknown system. Identifikátor y1 je výstupem algoritmu adaptive filter.

## 4.2 Simulace v Matlabu

Algoritmus *MyLMS* byl vytvořen podle rovnic. Níže je zobrazen M – file, který ověřuje LMS filtr. Je popsán

```
% Ověření filtru LMS - simulace
function [e, hfp] = MyLMS(x, p, mi, h)

[N1,N2] = size(x);
if N1<N2, N = N2; x = x'; else N = N1; end;% Sloupcový
vektor
[N1,N2] = size(h);
if N1<N2, q = N2; h = h'; else q = N1; end;% Sloupcový
vektor
hfn = ones(p,1)/p; % Počáteční odhad koeficientů filtru
y1 = zeros(N,1); % Výstup adaptivního filtru
e = x; % Chyba
X = zeros(p,1);
XX = zeros(q,1);

for n=(p+1):N,
    X(1:p) =x(n:(-1):(n-p+1));
    XX(1:q)=x(n:(-1):(n-q+1));
    hfp=hfn;
    y1(n)=hfp'*X; % Výstup FIR filtru
    e(n)=h'*XX-y1(n);
    hfn = hfp+mi*e(n)*X;
end;

end
```

Odzkoušení programu v prostředí Matlab se provede podle následujících kroků. Nejprve vytvoříme sinusový signál pro odzkoušení

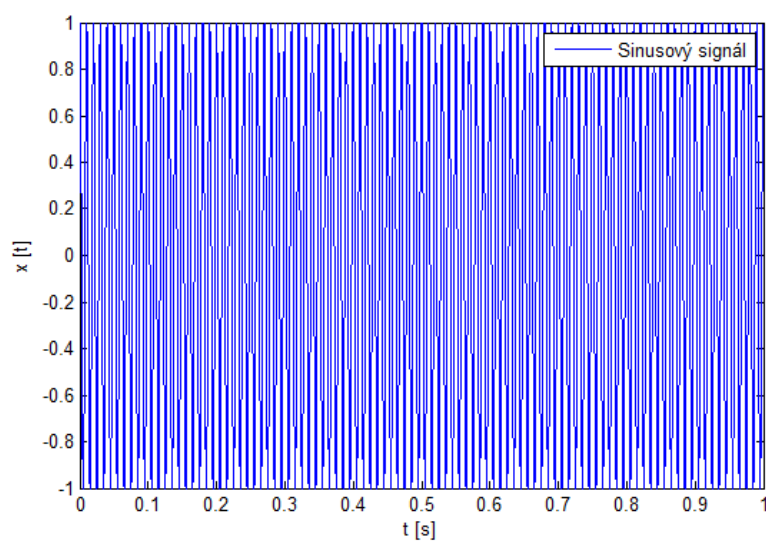
```
>> t=(0:7999)/8000;
```

```
>> x=cos(2*pi*100*t);
```

Tento signál si vykreslíme

```
>> plot(t,x)
```





**Obrázek 24** Generovaný sinusový signál

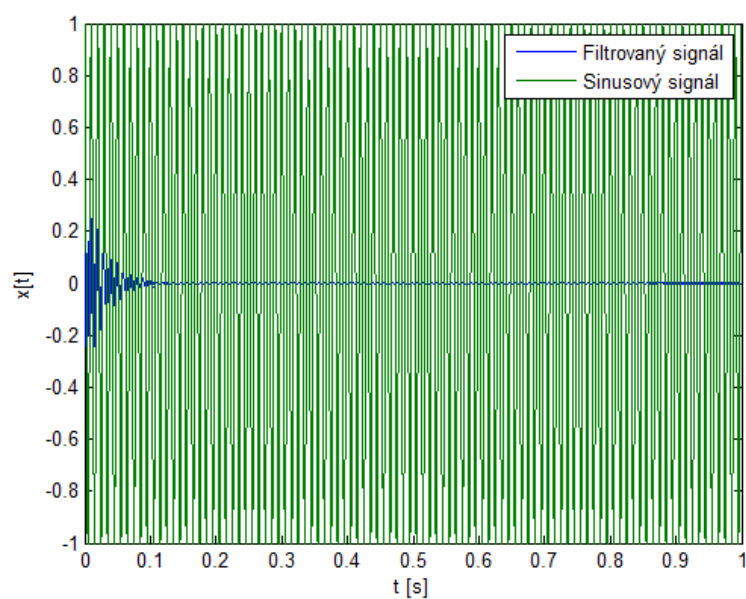
Poté spustíme filtr následujícím příkazem

```
>> [e, h]=MyLMS3(x, 12, 0.01, [0 1]);
```

A nakonec vykreslíme oba signály, tj. generovaný signál sinusový a dále utlumený signál.

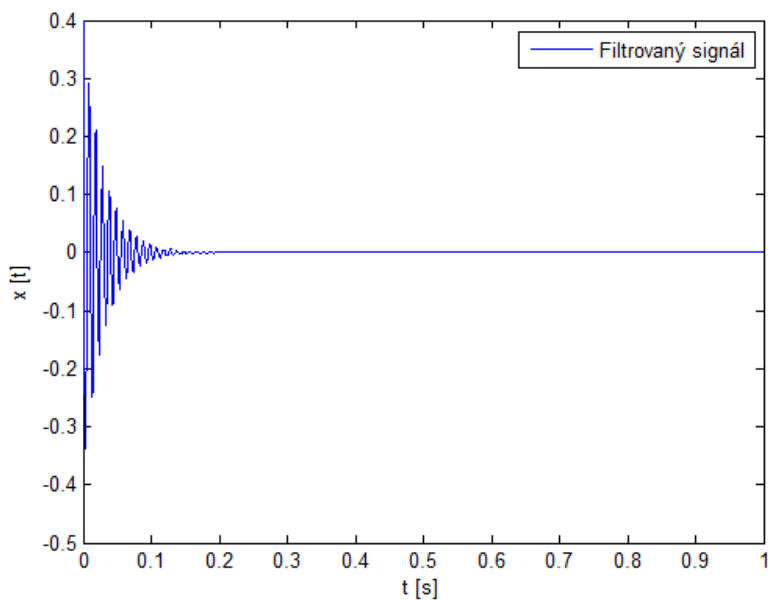
```
>> plot(t,e,t,x)
```

Na obrázku následujícím vidíme jak sinusový signál, tak i signál filtrovaný a proto můžeme považovat filtr *MyLMS* za funkční.



Obrázek 25 Oba signály

Na dalším obrázku je zobrazen pouze filtrovaný signál, tj. výsledek aktivního potlačení hluku. Zvuk vlivem působení antihluku zaniká do desetiny sekundy. Funkčnost adaptivního filtru je ověřena.



Obrázek 26 Filtrovaný signál

## 5 Experiment se sluchátky pro aktivní potlačování hluku

Pro experiment byla použita sluchátka, která jsou ve vlastnictví školy a jsou také speciálně upravená pro měření. Dále se experiment vyhodnocoval v programu SignalAnalyser. Výsledky dokazují správnou funkci aktivního potlačování hluku.

### 5.1 Sluchátka Sennheiser PXC 450

Sluchátka Sennheiser PXC 450 využívají nové technologie jak pohlit zvuk/ hluk. Jsou vynalezena pro piloty letadel, kteří musí mít nejlepší kvalitu zvuku a velice efektivní ochranu proti hluku okolí i ve velmi hlučném prostředí. Obsahují adaptivní tlumení a technologii NoiseGard™ 2.0 a TalkThrough funkci pro nejlepší možný útlum okolního hluku a také regulaci hlasitosti přímo na jednom z náušníků.



Obrázek 27 Sennheiser PXC 450 [10]

NoiseGard 2.0 je systém s propracovanou konstrukcí a efektivními procesory. Systém NoiseGard 2.0, používá mikrofony pro zachycení okolního nežádoucího hluku, speciálně vyvinutý filtrovací algoritmus, který zvyšuje aktivní potlačení hluku okolí až na 90% (23 dB).



Obrázek 28 Ovládání sluchátek [10]

K úrovni pasivního potlačení okolního hluku také přispívají náušníky a hlavový most. Sluchátka samozřejmě fungují i při pasivním používání, to znamená s vypnutým NoiseGard systémem a bez tužkových baterií.

Sluchátka ve vlastnictví školy mají oproti původnímu zakoupenému zařízení navíc čtyři BNC konektory.



Obrázek 29 BNC konektor a cinch [9]

Tyto konektory jsou odlišeny barevně pro lepší orientaci při práci se zařízením, viz tabulka 2. Popis konektorů.

Tabulka 2 Popis konektorů

Barva	Popis
Červená	procesor pravého sluchátka
Modrá	mikrofony pravého a levého sluchátka
Zelená	procesor levého sluchátka

Na obrázku níže jsou sluchátka s konektory BNC. Sluchátka z laboratoře katedry ATR.



Obrázek 30 Sluchátka VŠB – TUO

## 5.2 Měření sluchátek

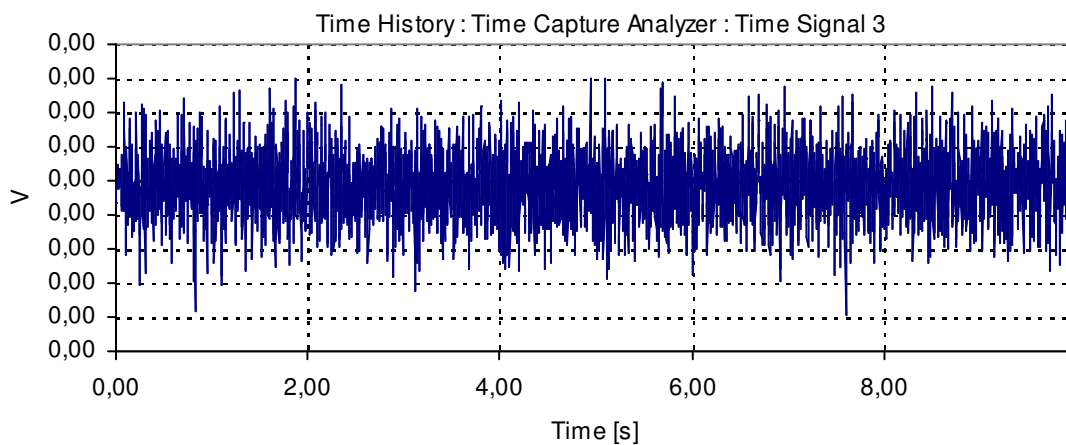
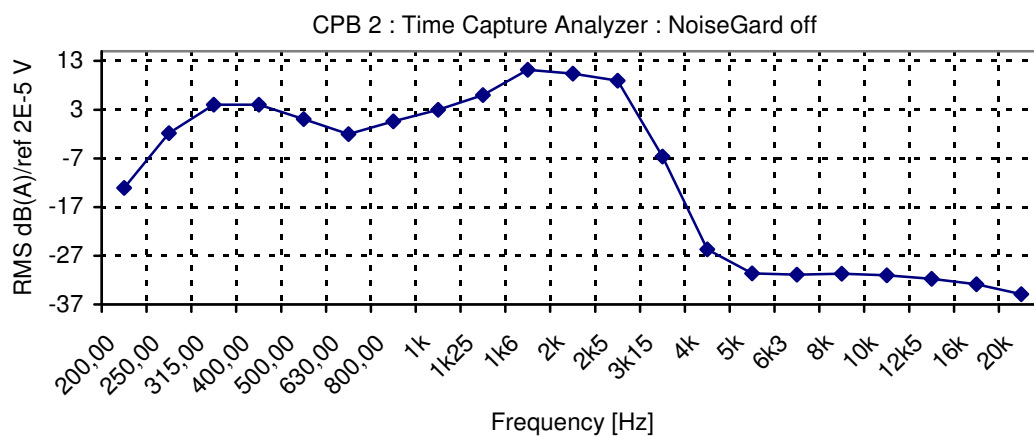
Měření bylo provedeno ve školní laboratoři. Původně byl pro vytvoření okolního hluku, byl použit signálový analyzátor Pulse, nakonec se však ukázalo, že při použití starých reproduktorů byl hluk až moc silný a tak, byl použit hluk okolí, brusky a zářivky. Hluk v okolí byl měřen referenčním mikrofonom Brüel & Kjaer Type 4190 – C - 001. Uvedená spektra byla vypočtena z časových záznamů o délce 10 s. Jedná se o 1/3 oktávová spektra s použitím frekvenční váhy typu A. Na obrázku níže vidíme také kalibrátor, pro kalibraci mikrofону.



Obrázek 31 Mikrofon, kalibrátor, mikrofonní kabel

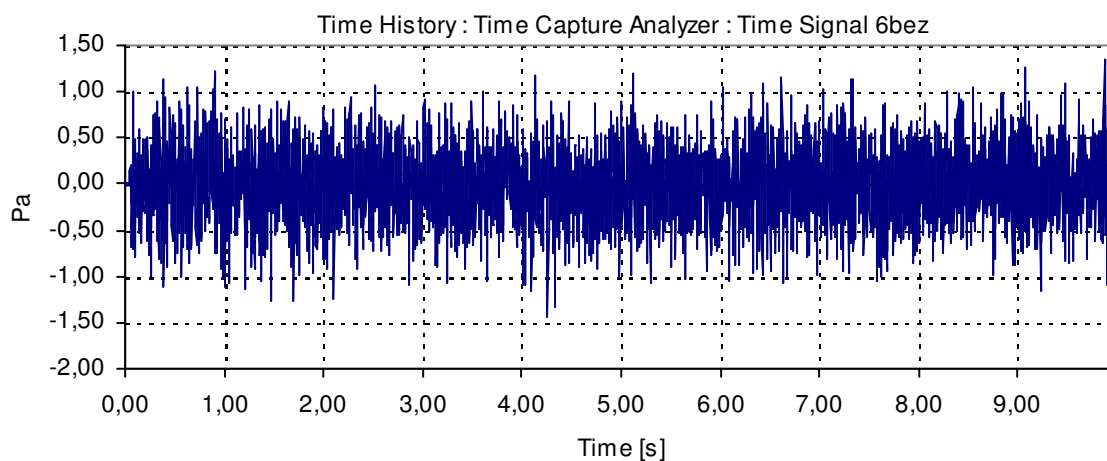
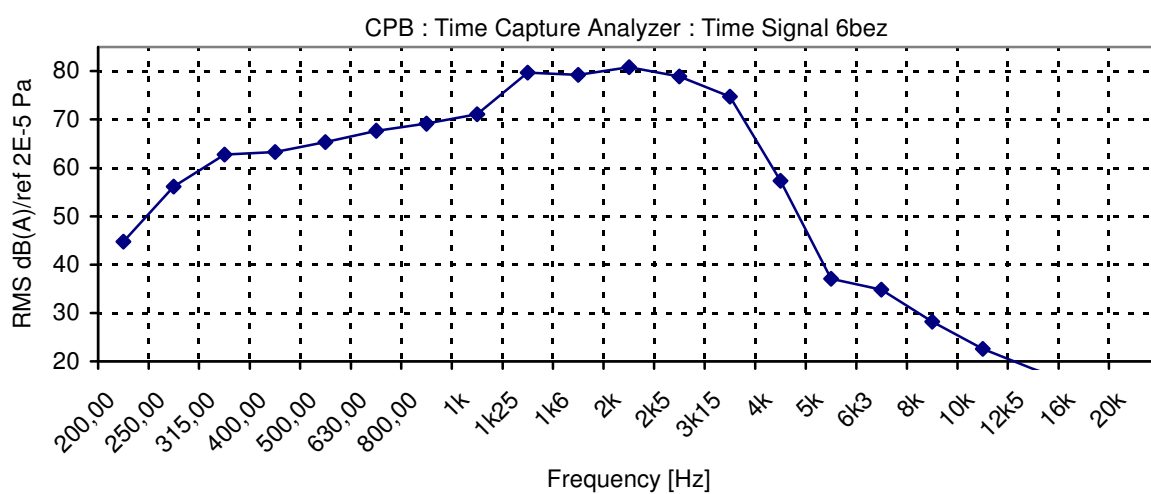
**Šum, hluk okolí - netlumený**

Šum okolí, zobrazený v původním zobrazení a na dalším obrázku, v třetinooktávovém autospektru CPB. Zobrazení signály jsou bez spuštění funkce NoiseGard 2.0, tzn. netlumené.

**Obrázek 32 Šum****Obrázek 33 Šum CPB**

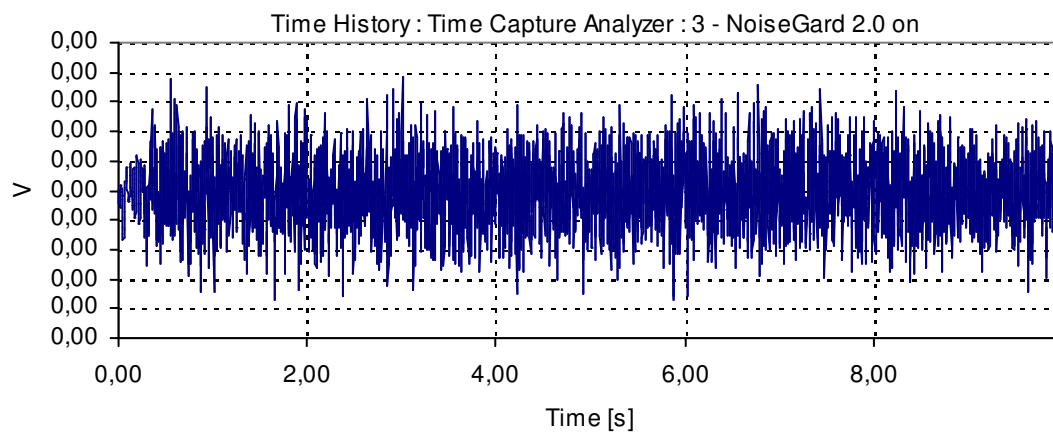
**Odezva na referenční mikrofon - netlumená**

Na obrázku je zobrazena odezva na referenční mikrofon a odezva zobrazena v třetinooktávovém autospektru CPB, opět zobrazen netlumený signál.

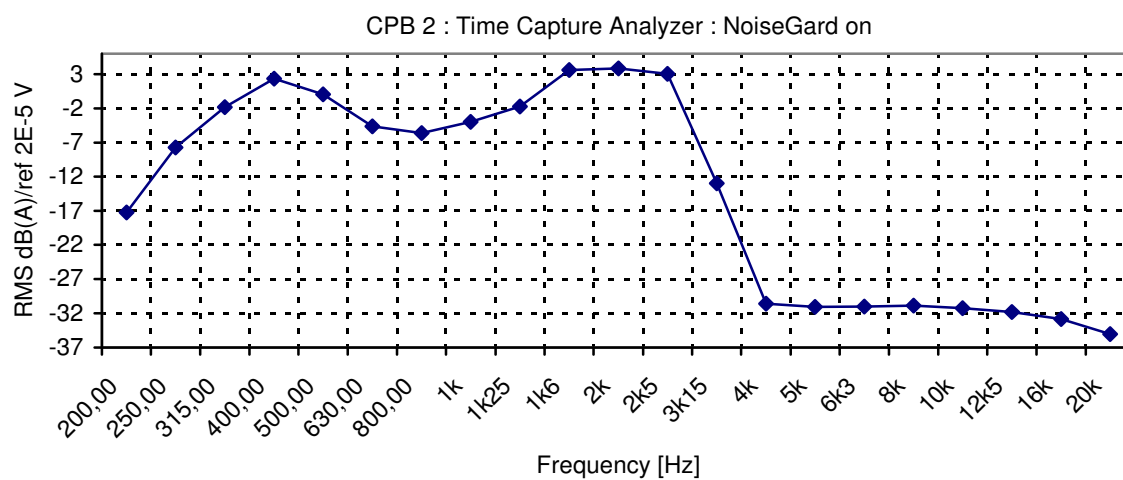
**Obrázek 34 Odezva****Obrázek 35 Odezva CPB**

### Šum, hluk okolí - tlumený

Šum okolí, zobrazený v původním zobrazení a na dalším obrázku v třetinooktávovém autospektru CPB. Zobrazení signály jsou při spuštění funkce NoiseGard 2.0, tzn. již tlumené



Obrázek 36 Šum NoiseGard 2.0

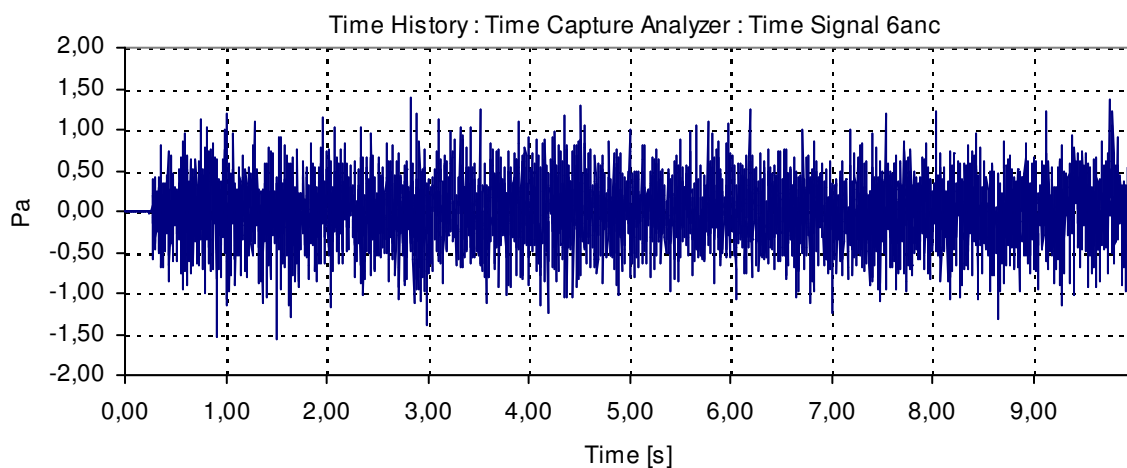
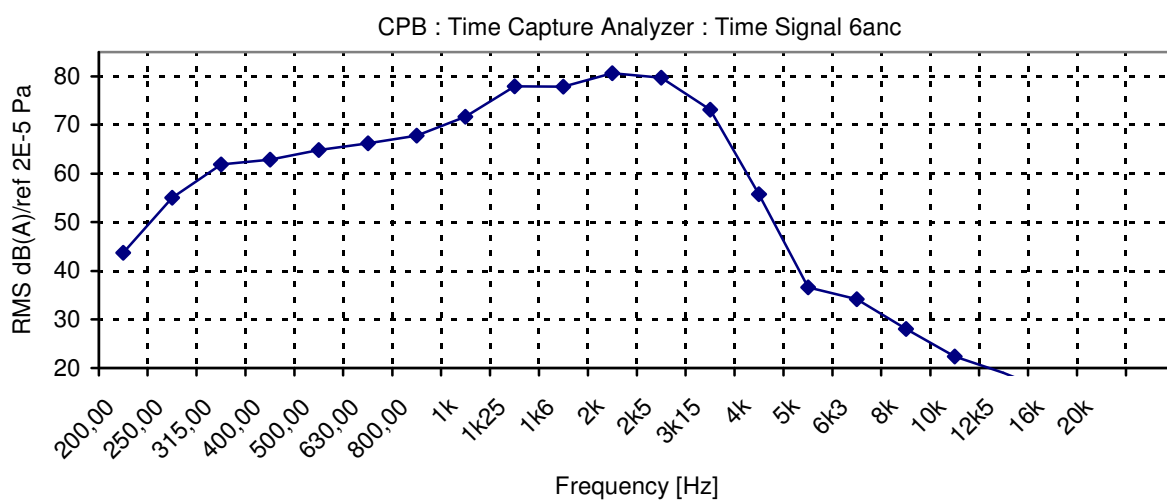


Obrázek 37 Šum NoiseGard 2.0 - CPB



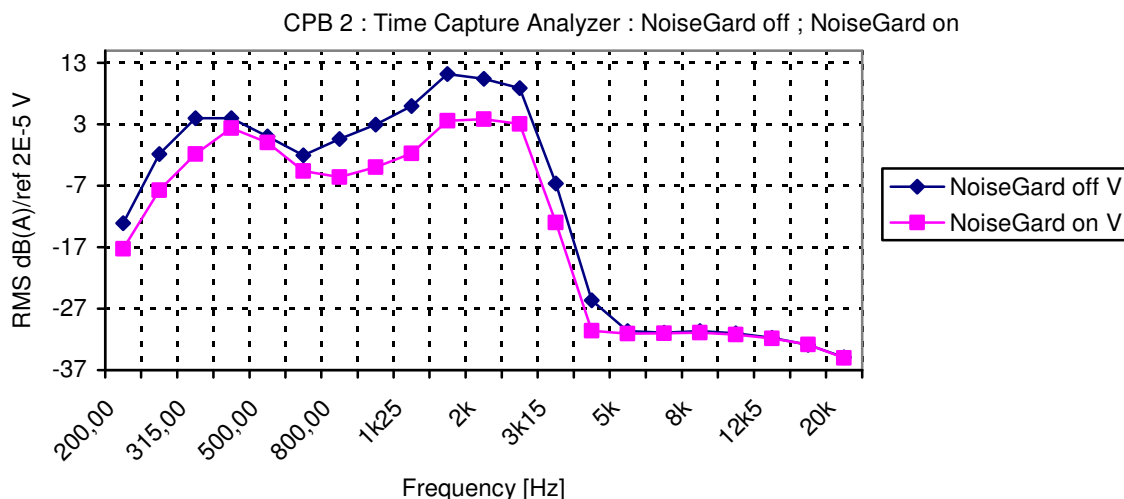
**Odezva na referenční mikrofon - tlumená**

Na obrázku je zobrazena odezva na referenční mikrofon a odezva zobrazena v autospektru CPB, zobrazení tlumeného signálu.

**Obrázek 38 Odezva NoiseGard 2.0****Obrázek 39 Odezva NoiseGard 2.0 – CPB**

### Porovnání spekter při vypnuté a zapnuté funkci NoiseGard 2.0

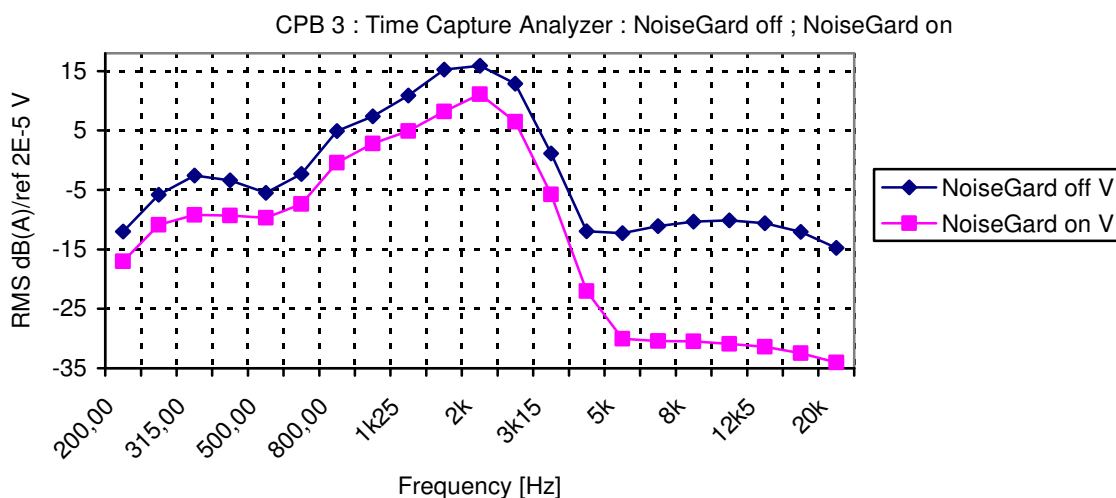
Na obrázcích vidíme porovnání spekter CPB při zapnuté a vypnuté funkci NoiseGard 2.0. Vidíme, že funkce byla ověřena a funguje bez problémů. Při nasazení na uši nebyla ani bruska ani zářivka vůbec slyšet.



Obrázek 40 Porovnání spekter

### Porovnání spekter při vypnuté a zapnuté funkci NoiseGard 2.0 – ve sluchátkách

V tomto následujícím grafu je vidět porovnání signálů při vypnuté a zapnuté funkci aktivního tlumení hluku uvnitř sluchátek.



Obrázek 41 Porovnání spekter uvnitř sluchátek

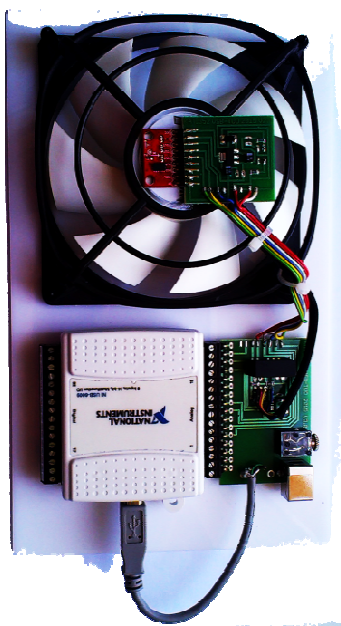
### **5.3 Vyhodnocení účinnosti Sluchátek Sennheiser PXC 450**

Z měření vyplívá, že funkce NoiseGard 2.0 tlumí frekvence v rozsahu přibližně 30 Hz ÷ 500 Hz. Maximální dosažený útlum činí 20dB. Funkce NoiseGard 2.0 nejlépe potlačuje frekvence přibližně kolem 150 Hz.

## 6 Návody pro cvičení

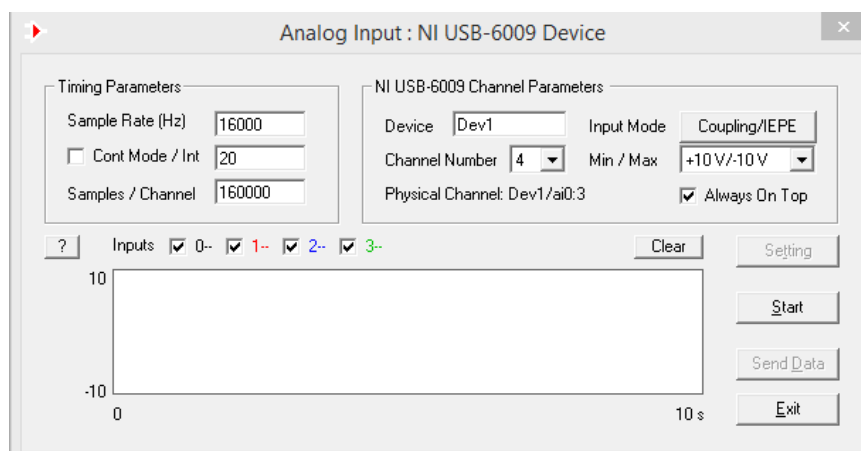
Podklady pro cvičení, jsou zahrnuty do příloh. Byly zpracovány návody pro laboratorní úlohu aktivního potlačování hluku. Tato úloha obsahuje experiment pro ověření funkce sluchátek Sennheiser PCX 450.

Studenti si odzkoušejí práci se signálem a měřící kartou NI – USB 6009. Karta má maximální frekvenční rozsah až do 42 kHz, my však budeme používat pouze 16kHz. Karta má 8 vstupů. Digitální i analogové. Karta NI – USB 6009 je 14 – bit a její vzorkovací frekvence je 48 000 vzorků za sekundu. Prakticky je toto číslo o něco menší, tedy 42 000 vzorků za sekundu. Vstupní rozsah karty je singl ended, nebo differential. Jelikož jsou, ale uvnitř sluchátek zapojeny drátky ke společné zemi využívá karta pro sluchátka jen 2 vstupu a ostatních 6 vstupů pro jiné funkce, je tato karta použita jako singl ended. Rozsah je  $\pm 10$  V.



Obrázek 42 NI - USB 6009

Studenti si nahrají svůj signál, který poté vyhodnotí pomocí programu SignalAnalyser, což je přesně popsáno v příloze.

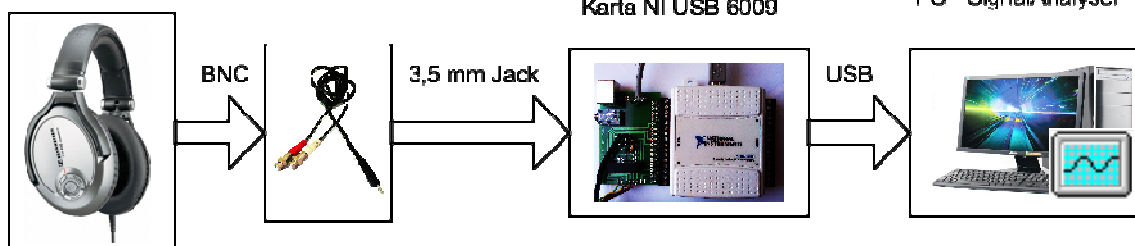


Obrázek 43 Nahrávání do SignalAnalyseru

Dále se také seznámí z funkcí antihluku pro aktivní potlačování hluku. Naučí se vyhodnocovat signál pomocí spekter. V úloze, se bude používat třetino - oktávové spektrum, nebo i jiné, dle specifikace zadání odborného asistenta, či doktoranda.

V podkladech jsou detailně popsány komponenty úlohy a jak je správně používat. Návod obsahuje také teoretické popisy sluchátek, měřící karty NI – USB 6009 a software SignalAnalyser, i když ke zpracování dat lze použít i jiná prostředí, která umí kartu ovládat, jako například LabView. V návodu je zahrnuto také schéma zapojení úlohy a v neposlední řadě také vyhodnocení.

Sluchátka  
Sennheiser PCX 450



Obrázek 44 Schéma zapojení

Vyhodnocení naměřeného signálu je pospánu krok po kroku. Je popsáno uložení signálu, nastavení spektra, přepočtení signálu a také následné zobrazení a úpravy grafu, včetně dalšího exportu dat dále do jiných textových prostředí, excelu, či jinam, kam bude potřeba.

## 7 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá aktivním potlačováním hluku. V práci je popsána funkce lidského ucha a hraniční velikosti intenzity hluku. Je popsán práh slyšitelnosti a práh bolestivosti, je uvedeno, co je to hladina hluku v decibelech. Dále je také vysvětlen význam veličin jako akustický tlak, jeho hladiny a intenzita hluku.

V další části, dle zadání je vysvětlena funkce adaptivních filtrů pro potlačování hluku. Podle druhého bodu zadání jsou uvedeny schémata obsahující adaptivní filtry a také příklady jejich použití. Adaptivní filtry se začaly používat v zařízeních pro potlačování hluku, jako jsou sluchátka nebo systémy složitější s reproduktory. Aplikace adaptivních filtrů najdeme v nejrůznějších zařízeních, jako jsou mobilní telefony, videokamery, fotoaparáty, ale také medicínské zařízení pro měření a zaznamenávání stavu pacientů.

V prostředí Matlab byl navržen příklad adaptivního filtru, který využívá algoritmus LMS k minimalizaci zbytkového akustického tlaku, který se měří nulovým mikrofonom. Byly popsány jednotlivé části programu a vzorce, ze kterých algoritmus vychází. Nakonec byl algoritmus odzkoušen simulací. Při simulaci byl nulovací mikrofon nahrazen pomocným přenosem do místa nulového mikrofону. Algoritmus LMS představoval FIR filtr, jehož koeficienty se postupně adaptovaly tak, aby referenční signál byl vynulován. Řád filtru byl volen experimentálně tak, aby byl jeho řád větší než dopravní zpoždění pomocného přenosu.

Ve čtvrtém bodě zadání, byl proveden experiment, který měl ověřit funkci sluchátek Sennheiser PXC 450 a vyhodnotit jejich účinnost. Experiment byl realizován v laboratoři katedry 352. Měření bylo provedeno se signálovým analyzátozem Pulse a vyhodnocení proběhlo v programu SignalAnalyser. Potlačení hluku bylo pozorovatelné i bez měření. Ke kvantitativnímu stanovení účinnosti jsou však doloženy třetinooktávová spektra.

Posledním bodem zadání bylo navržení laboratorního cvičení pro demonstraci aktivního potlačování hluku. Text návodu je přílohou diplomové práce. Návod je koncipován pro měření s multifunkční kartou National Instrument typu USB 6009. Ve cvičení si studenti odzkoušejí účinek sluchátek pro aktivní potlačování hluku. V návodu je detailně popsáno zapojení měřicího řetězce včetně kabeláže a propojení multifunkční karty s portem USB počítače. V počítačích na počítačové učebně je k dispozici program SignalAnalyser. Předpokládá se, že v tomto prostředí bude laboratorní měření vyhodnoceno. Postup vyhodnocení je v návodu popsáno krok za krokem. V návodech do cvičení je popsáno také nahrávání dat přes měřicí kartu NI –

USB 6009 a další uložení dat pro vyhodnocení. Je také ukázáno jak nastavit výpočet třetinooktávových spekter CPB pro vykreslení grafů a jak provádět další úpravy spekter včetně uložení grafu. V poslední části návodu pro laboratorní cvičení je ukázáno, jak vykreslený graf exportovat do jiných souborů, například textových, excelu atd..

## 8 Seznam použité literatury

Škvor, Z., Akustika a elektroakustika. Academia, 2001.

Crocker, M. (Editor) Handbook of noise and vibration control. New York: Wiley, 2007.

Liu, K.H., Chen, L.C., Ma, T., Bellala, G., Chu, K., Active Noise Cancellation Project. EECS 452, Winter 2008, 4/17/08.

Roshahliza M., Ramli, Ali O., Abid Noor, and Salina Abdul Samad, A Review of Adaptive Line Enhancers for Noise Cancellation. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(6): 337-352, 2012, ISSN 1991 – 8178.

Tůma, J. Signal processing, 1. Vyd. Ostrava: Skripta VŠB – TUO Ostrava, 2009. 156 s. ISBN 978-80-248-2114-6.

Haykin, S., Adaptive Filter Theory, 2<sup>nd</sup> ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněných na webových stránkách katedry.

[1] SLOMKOVÁ, Kristýna. Krátkodobá ztráta sluchu je normální. *LIDSKÉ TĚLO MEDICÍNA ZDRAVÍ*. 2013, č. 5, s. 1. Dostupné z: <http://smskontakt.webspace.pk62.com/21stoletinove/?p=28834>

[2] FEDERMAN, Bohumil. Odchyly citlivosti lidského ucha od 90 fonu. In: *Odchyly lidského ucha* [online]. 1970 [cit. 2007-20-12]. Dostupné z: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Odchyly\\_citlivosti\\_lidsk%C3%A9ho\\_ucha\\_od\\_90\\_fonu.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Odchyly_citlivosti_lidsk%C3%A9ho_ucha_od_90_fonu.JPG)

[3] REICHEL, Jaroslav. Weber - Fechnerův psychofyzikální zákon. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/210-weber-fechneruv-psychofyzikalni-zakon>

[4] ELEKTROAKUSTIKA. *Konstrukce mikrofonů* [online]. 2005 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://www.elektroakustika.cz/types\\_microphones.html](http://www.elektroakustika.cz/types_microphones.html)

[5] Kondenzátorový mikrofon. *AUDIO - TECHNIKA* [online]. 2010 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.audio-technica-cz.com/kondenzatorovy-mikrofon.html>

[6] Tůma, J. Signal processing, 1. vyd. Ostrava : Skripta VŠB - TU Ostrava, 2009. 156 s. ISBN 978-80-248-2114-6.



GES electronics. *GES* [online]. 2015 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/digitalni-zvukomer-sl-50-GES07313153.html>

[8] WIKIPEDIA otevřená encyklopedie. *Active noise control* [online]. 3. 3. 2014, 28. 11. 2014 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Active\\_noise\\_control](http://en.wikipedia.org/wiki/Active_noise_control)

[9] SENNHEISER. . SENNHEISER. *Www.sennheiser.com* [online]. 2013. vyd. 2014, 7. 7. 2017 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: <http://www.sennheiser.cz/index.php?id=23&produkt=8665>

[10] *Heureka.cz - porovnání cen a srovnání produktů* [online]. 2014 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: [http://sluchatka.heureka.cz/sennheiser-pxc-450/?gclid=Cj0KEQIAhvujBRDUpomG5cq\\_ml0BEiQA7TYq-o1g1P8p8bQ14rDZYd4jy73V72RO9wbQkZuex1OADRoaAtub8P8HAQ](http://sluchatka.heureka.cz/sennheiser-pxc-450/?gclid=Cj0KEQIAhvujBRDUpomG5cq_ml0BEiQA7TYq-o1g1P8p8bQ14rDZYd4jy73V72RO9wbQkZuex1OADRoaAtub8P8HAQ)

Dey, A.K., Saha, S., Saha, A. and Ghosh, S., Adaptive System Simulation and Noise Analysis Toolbox (ASSNAT) : The Open-Source Toolbox Developed with Newer Features for Adaptive System Simulation . Universal Journal of Computer Science and Engineering Technology, 1 (2), 93-98, Nov. 2010.

Firemní manuály.

KOČÁRKOVÁ, Jaroslava. Unikátní metoda tlumení hluku a vibrací na TUL. *Http://tuni.tul.cz*. 16.03.2009, č. 5, s. 2. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/hluk/75165/unikatni-metoda-tlumeni-hluku-a-vibraci-na-tul>

*Metody snižování hluku v konstrukci osobních vozidel*. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2013. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=65869](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65869). Bakalářská práce. BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

*Zpracování měření hladin akustického tlaku Processing of the sound pressure level measurement*. UTEBE Zlín, 2008. Dostupné z: [https://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10905/machalsk%C3%BD\\_2009\\_bp.pdf?sequence=1](https://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10905/machalsk%C3%BD_2009_bp.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. UTEBE Zlín.

TŮMA, Jiří. *Homel.vsb.cz: tum52. VŠB - TUO. Prof. Ing. Jiří Tůma, Csc.* [online]. 2014 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~tum52/>

## 9 Přílohy

V příloze je vložen program algoritmu LMS pro simulaci v Matlabu. V příloze jsou také uloženy návody pro laboratorní cvičení aktivního potlačování hluku.

## 9.1 Příloha 1

```
% Ověření filtru LMS - simulace
function [e, hfp] = MyLMS(x, p, mi, h)

[N1,N2] = size(x);
if N1<N2, N = N2; x = x'; else N = N1; end;% Sloupcový
vektor
[N1,N2] = size(h);
if N1<N2, q = N2; h = h'; else q = N1; end;% Sloupcový
vektor
hfn = ones(p,1)/p; % Počáteční odhad koeficientů filtru
y1 = zeros(N,1); % Výstup adaptivního filtru
e = x; % Chyba
X = zeros(p,1);
XX = zeros(q,1);

for n=(p+1):N,
    X(1:p) =x(n:(-1):(n-p+1));
    XX(1:q)=x(n:(-1):(n-q+1));
    hfp=hfn;
    y1(n)=hfp'*X; % Výstup FIR filtru
    e(n)=h'*XX-y1(n);
    hfn = hfp+mi*e(n)*X;
end;

end
```

## **9.2 Příloha 2**

Návody pro laboratorní cvičení.

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra automatizační techniky a řízení



## Návody do cvičení

Aktivní potlačování hluku

Zpracoval: Bc. Adam Machač

Ostrava 2015

## Obsah

<b>1</b>	<b>Popis.....</b>	<b>63</b>
<b>2</b>	<b>Zařízení.....</b>	<b>63</b>
2.1	<i>Sluchátka Sennheiser PXC 450.....</i>	<i>63</i>
2.2	<i>Kabeláž.....</i>	<i>66</i>
2.3	<i>Měřicí karta.....</i>	<i>67</i>
2.4	<i>SignalAnalyser.....</i>	<i>68</i>
<b>3</b>	<b>Měření.....</b>	<b>69</b>
3.1	<i>Naměření dat.....</i>	<i>69</i>
3.2	<i>Vyhodnocení dat.....</i>	<i>71</i>

## 1 Popis

Laboratorní cvičení bude prováděno za dozoru odborného asistenta, nebo doktoranda. Úloha se zabývá aktivním potlačováním hluku sluchátky. Studenti si mohou odzkoušet aktivní potlačování hluku v praxi a zároveň také ověřit funkci sluchátek.

## 2 Zařízení

Ke zpracování úlohy jsou potřebná sluchátka Sennheiser PXC 450, měřicí karta National Instrument USB 6009 a samozřejmě počítač. V počítači bude k vyhodnocení naměřených dat k dispozici program katedry 352, SignalAnalyser.

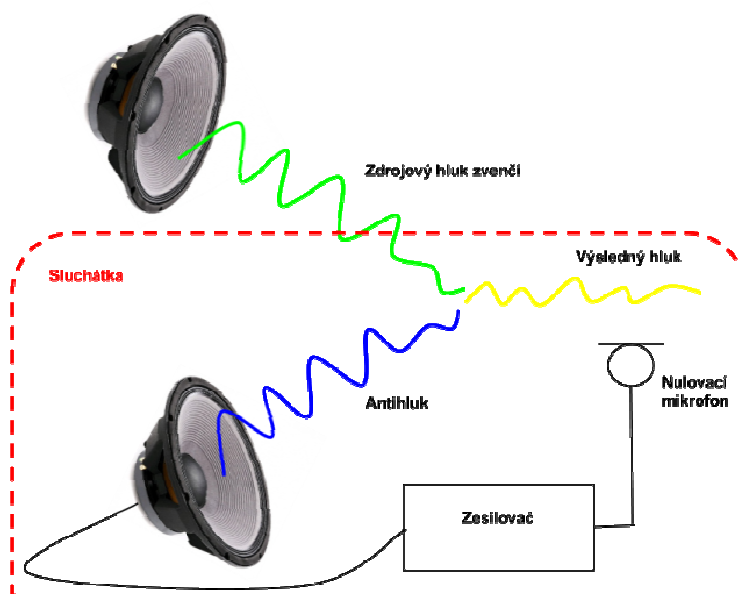
### 2.1 Sluchátka Sennheiser PXC 450

Sluchátka Sennheiser PXC 450 využívají nové technologie jak snížit hladinu hluku. Sluchátka byla vynalezena pro piloty letadel a vrtulníků, kteří musí mít nejlepší kvalitu zvuku a velice efektivní ochranu proti hluku okolí i ve velmi hlučném prostředí. Obsahují adaptivní tlumení a technologii NoiseGard™ 2.0 a TalkThrough funkci pro nejlepší možný útlum okolního hluku a také regulaci hlasitosti přímo na jednom z náušníků.



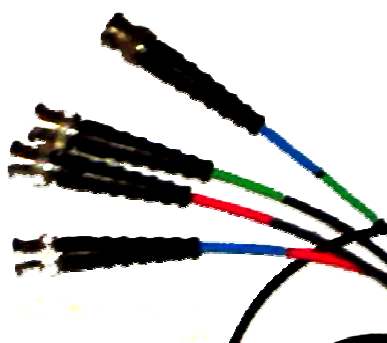
Obrázek 45 Sluchátka Sennheiser PXC 450

NoiseGard 2.0 je systém stejnojmenné australské firmy s propracovanou konstrukcí a efektivními procesory. Systém NoiseGard 2.0, používá mikrofony pro zachycení okolního nežádoucího hluku, speciálně vyvinutý filtrovací algoritmus, který zvyšuje aktivní potlačení hluku okolí až na 90% (23 dB).



Obrázek 46 Princip NoiseGard

Školní sluchátka jsou opatřena přídatnými kabely s BNC konektory, což sluchátka, která jsou běžně od výrobce, nemají. Tyto konektory jsou odlišeny barevně pro lepší orientaci při práci se zařízením, viz tabulka Popis konektorů a obrázek níže.



Obrázek 47 BNC konektory sluchátek



Tabulka 3 Konektory sluchátek

Barva	Popis
Červená	procesor pravého sluchátka
Modrá	mikrofony pravého a levého sluchátka
Zelená	procesor levého sluchátka

Sluchátka NoiseGard 2.0 napájí jedna tužková baterie typu AAA. Baterie se vkládá do pravého sluchátka, viz obrázek níže.



Obrázek 48 Tužková baterie

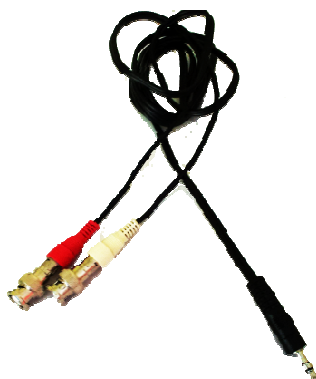
Ovládání funkce NoiseGard 2.0 je jednoduše umístěno na pravém náušníku On/Off, což jde vidět na následujícím obrázku. Po zapnutí funkce tlačítkem On/Off se rozsvítí červená kontrolka nad ovládáním.



Obrázek 49 Ovládání

## 2.2 Kabeláž

K realizaci úlohy a zapojení sluchátek k měřicí kartě je zapotřebí kabel, který má z jedné strany 3,5 mm jack a ze strany druhé konektor cinch. Pro připojení sluchátek musí tedy být zapojen ještě mezikus, který slouží jako redukce těchto dvou konektorů na BNC konektory.



Obrázek 50 Kabel Jack – BNC

Na obrázku je zobrazen kabel 3,5 mm jack a cinch a na následujícím obrázku vidíme mezikus, který umožňuje připojení BNC konektorů sluchátek.



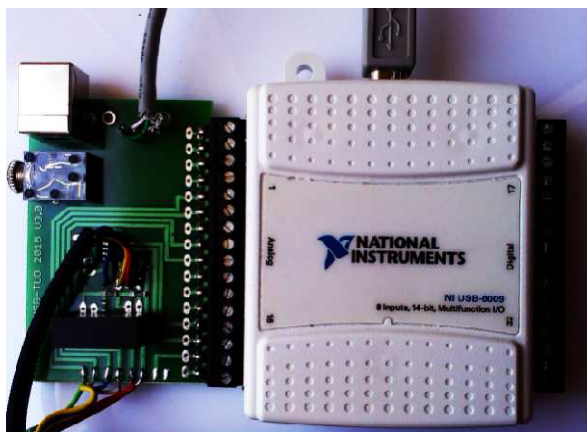
Obrázek 51 Mezikus

## 2.3 Měřicí karta

Měřicí karta, která je použita pro tuto úloha, je karta National Instruments USB 6009. Je to univerzální karta, která se na katedře 352 běžně používá. Karta bude sloužit k nahrávání napěťových signálů ze sluchátek. S touto kartou se již provádí laboratorní úlohy v různých předmětech katedry.

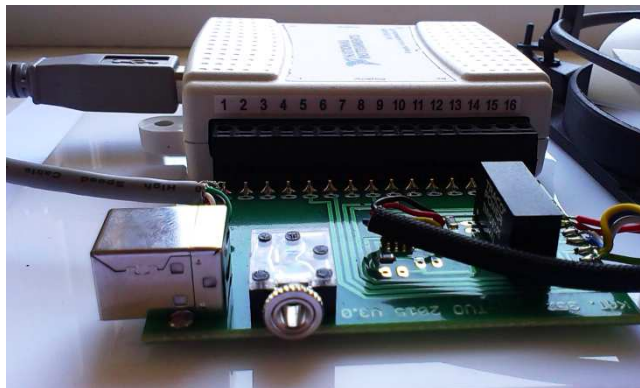
Karta má maximální použitelný frekvenční rozsah až do 42 kHz i když je v katalogu uvedeno 48 kHz. My však budeme používat pouze 16kHz pro dva kanály. Karta má 8 vstupů. Digitální i analogové. Karta NI – USB 6009 je 14 – bit. Prakticky je toto číslo o něco menší, tedy 42 000 vzorků za sekundu z obou vstupů dohromady.

Vstupní mód karty je single - ended, nebo differential. Jelikož jsou, ale uvnitř sluchátek zapojeny drátky ke společné zemi, využívá karta pro sluchátka jen dva vstupy a ostatních 6 vstupů pro jiné funkce, je tato karta použita jako single - ended. Rozsah je  $\pm 10$  V.



Obrázek 52 NI USB 6009

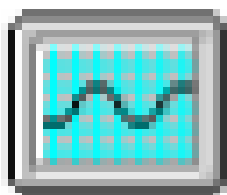
Ke kartě připojíme sluchátka pomocí kabelů, kde z jedné strany je klasický 3,5 mm Jack, který jde do karty, a na straně druhé jsou BNC konektory, na které se připojí sluchátka.



Obrázek 53 Připojení Sluchátek

## 2.4 SignalAnalyser

SignalAnalyser je program katedry automatizační techniky 352. Tento software se používá například v předmětu zpracování signálu.

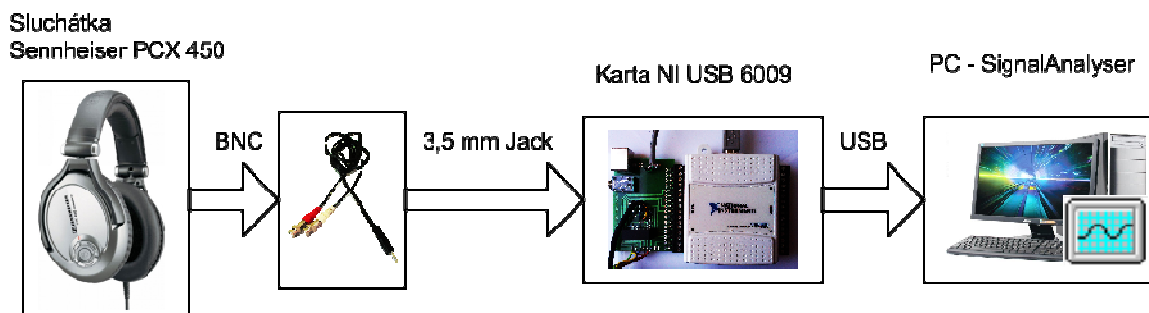


Obrázek 54 SignalAnalyser

Program je k dispozici na počítačích v učebnách. Pomocí tohoto programu se bude měřit a následně také vyhodnocovat. Samozřejmě je možné použít úplně jiný software, například LabView. Lze použít každý program, kterým jde ovládat kartu NI – USB 6009 a převádět data například do Matlabu (real time tool box).

### 3 Měření

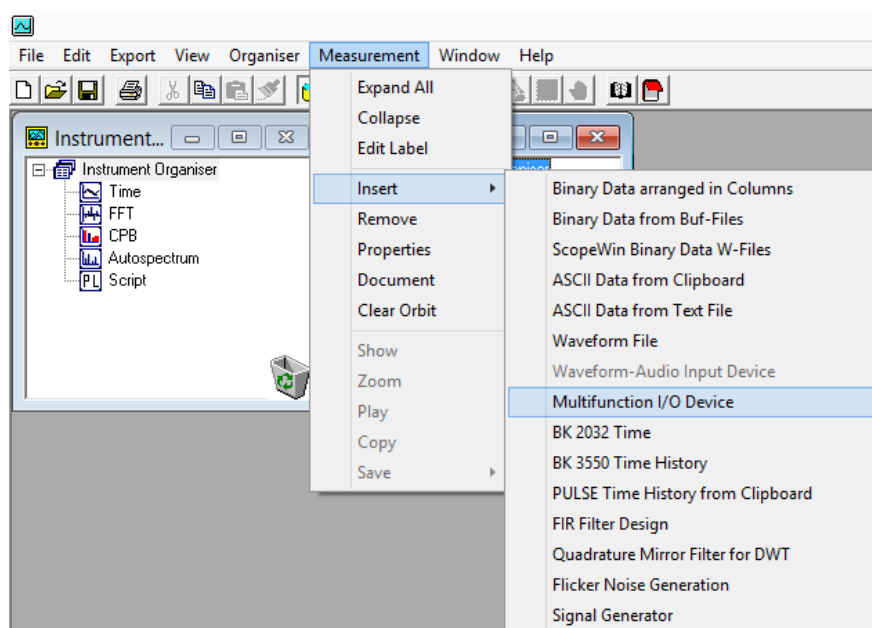
K měření budeme používat program SignalAnalyser. Na následujícím schématu vidíme celé zapojení úlohy, sluchátka, měřicí kartu i počítač se softwarem.



Obrázek 55 Schéma zapojení

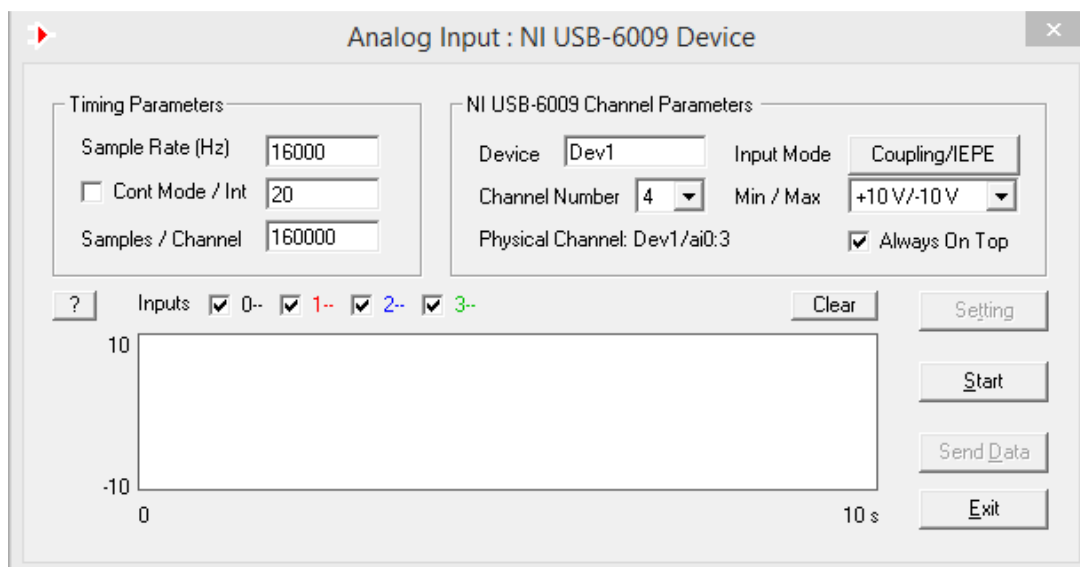
#### 3.1 Naměření dat

Naměření dat provedeme v SignalAnalyseru tak, že v záložce Measurement zvolíme položku Insert a dále Multifunction I/O Device, dle obrázku.



Obrázek 56 Measurement

Po zvolení této položky se zobrazí okno Analog Input: NI USB – 6009 Device. Toto okno je nastavení měřicí karty. Můžeme měnit parametry karty NI USB 6009, ale i parametry jako počet vzorků, rozsah a tak podobně. Nesmíme také zapomenout nastavit Always on Top.

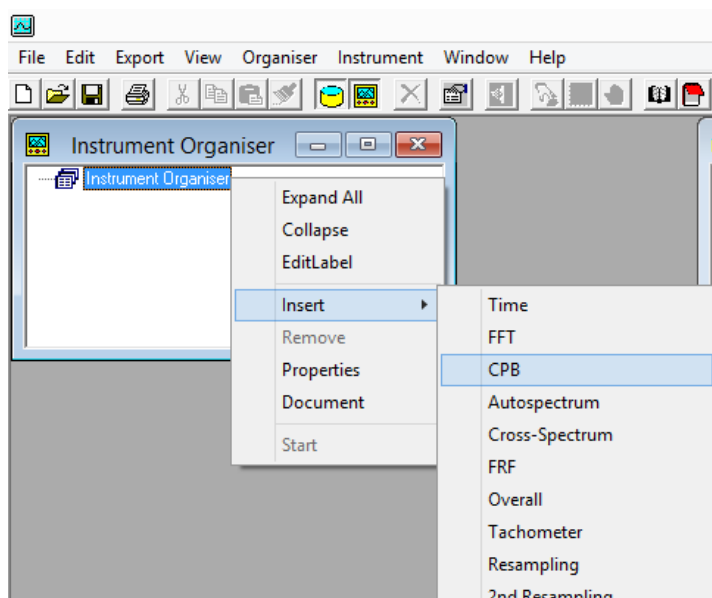


Obrázek 57 Nastavení měřicí karty

Vzorkovací frekvenci nastavíme na 16 000 Hz. Cont mode, neboli režim načítání dalších vzorků nastavíme 20s. A nakonec počet vzorků na 160 000. Na obrázku také vidíme minimální a maximální rozsah  $\pm 10$  V.

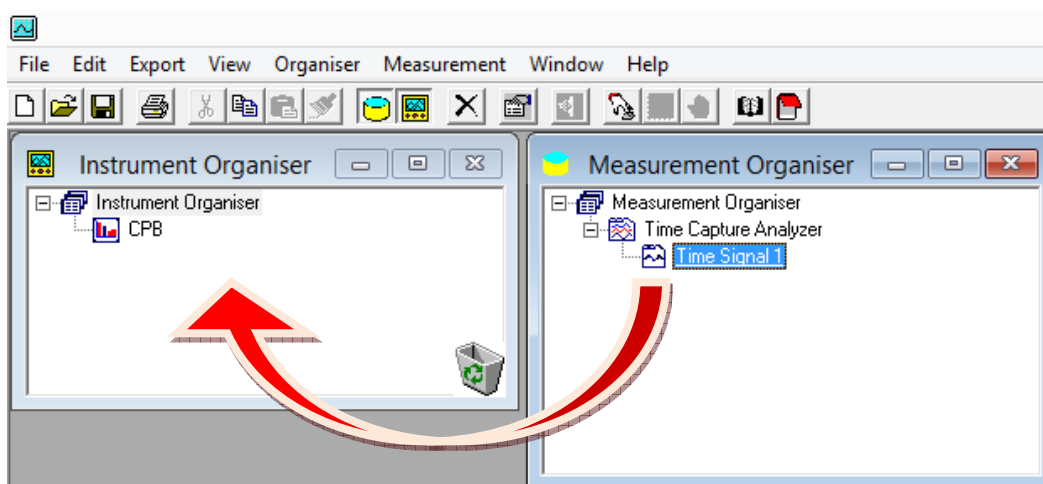
### 3.2 Vyhodnocení dat

Přepneme se do okna Instrument Organiser a v tomto okně pravým tlačítkem roletku, kde zvolíme Insert a následně CPB. CPB proto, že budeme pro vyhodnocení využívat, třetino-oktávové spektrum.



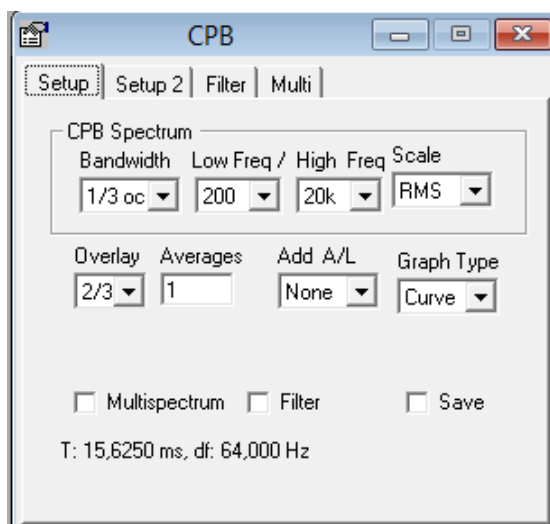
Obrázek 58 Instrument Organiser

Náš naměřený signál máme v okně Measurement Organiser. Signál si pro vyhodnocení přetáhneme myší do okna Instrument Organiser.



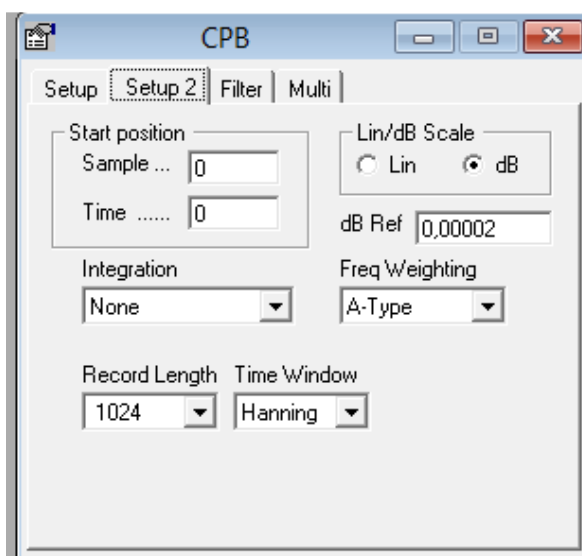
Obrázek 59 Přesun signálu

Po přesunutí dat z jednoho okna do druhého nám vyskočí okénko Setup, ve kterém můžeme upravit parametry CPB spektra. Můžeme nastavit typ spektra. Frekvenční rozsah, počet vzorků a formát grafu (křivky, sloupce atd.) Bandwidth, nastavíme na 1/3 oktávové spektrum a Averages, počet vzorků aspoň na 200 záznamů



Obrázek 60 Nastavení spektra

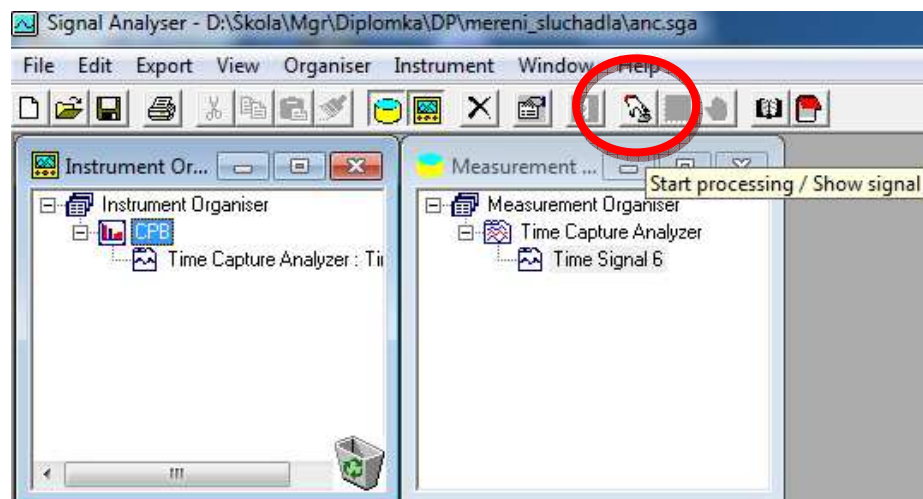
Důležitá pro nastavení je ale také záložka Setup 2, kde si přenastavíme rozsah na decibely, hodnoty se tak budou podobat více reálným hodnotám. Referenční hodnotu přenastavíme na 0,0002, pokud známe citlivost mikrofону, kterým měříme. Pokud měříme jen kartou, nemusíme tuto hodnotu nijak měnit. Typ váhového filtru nastavíme na A - Type. Naměřené hodnoty jsou relativní, a proto je musíme porovnávat.



Obrázek 61 Setup 2

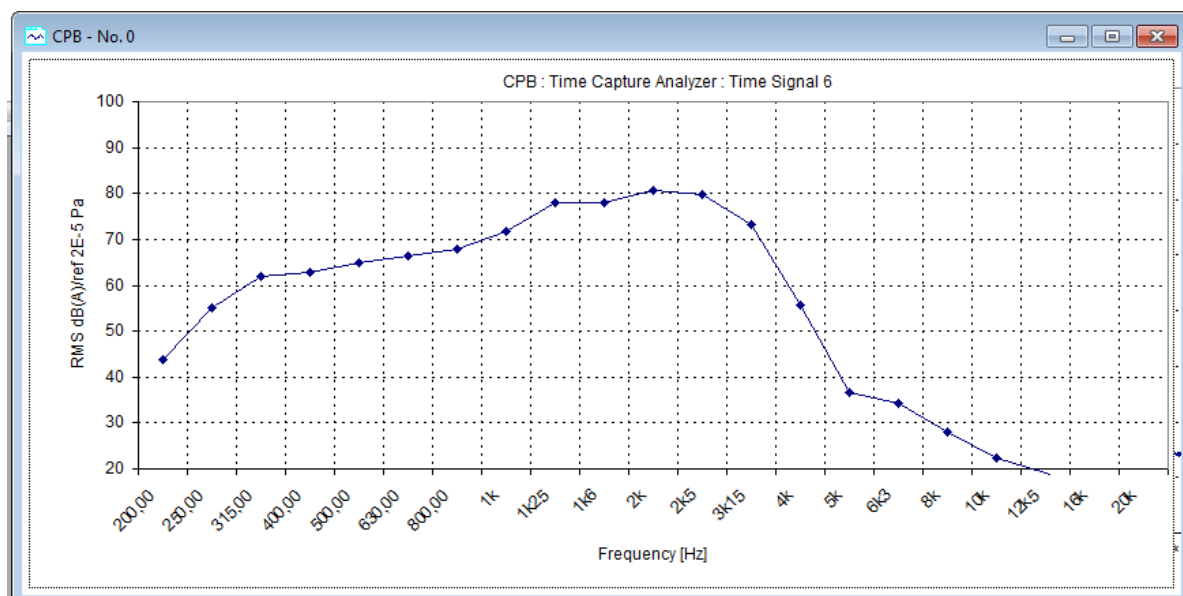


Po přetažení signálu a provedení potřebných nastavení CPB spektra si přepočtený signál zobrazíme pomocí tlačítka Start processing/Show signal. Po stisknutí tohoto tlačítka se signál přepočítá a zobrazí v grafu.



Obrázek 62 Zobrazení signálu

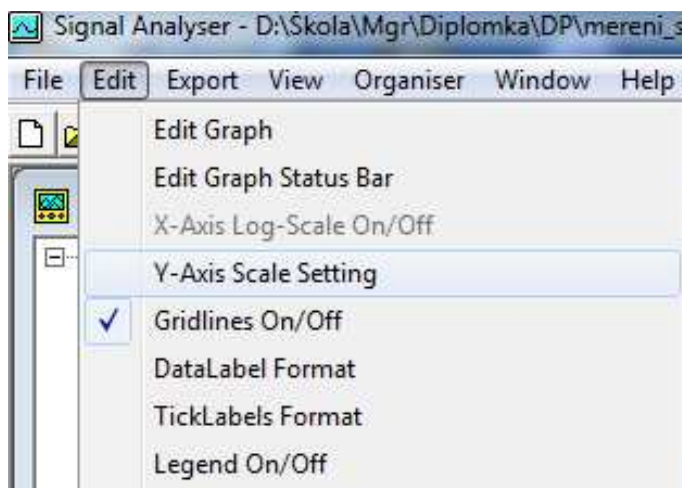
Graf se zobrazí stejně jako na obrázku, osy jsou posány. Popis os zobrazí SignalAnalyser sám automaticky.



Obrázek 63 Zobrazený signál

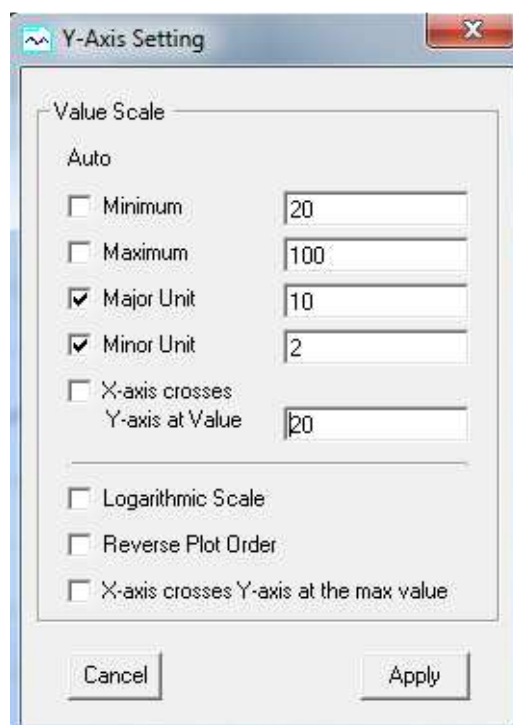
Vodorovná frekvenční osa je logaritmická, písmenko „k“ označuje kHz.

Pro lepší zobrazení grafu a čtení je možno upravit si rozsah os. Provedeme to kliknutím na záložku Edit a následně Y – Axis Scale Settings. Zde můžeme také upravit mřížku a vložit legendu, což je výhodné pokud máme zobrazeno několik signálu a chceme je například porovnat.



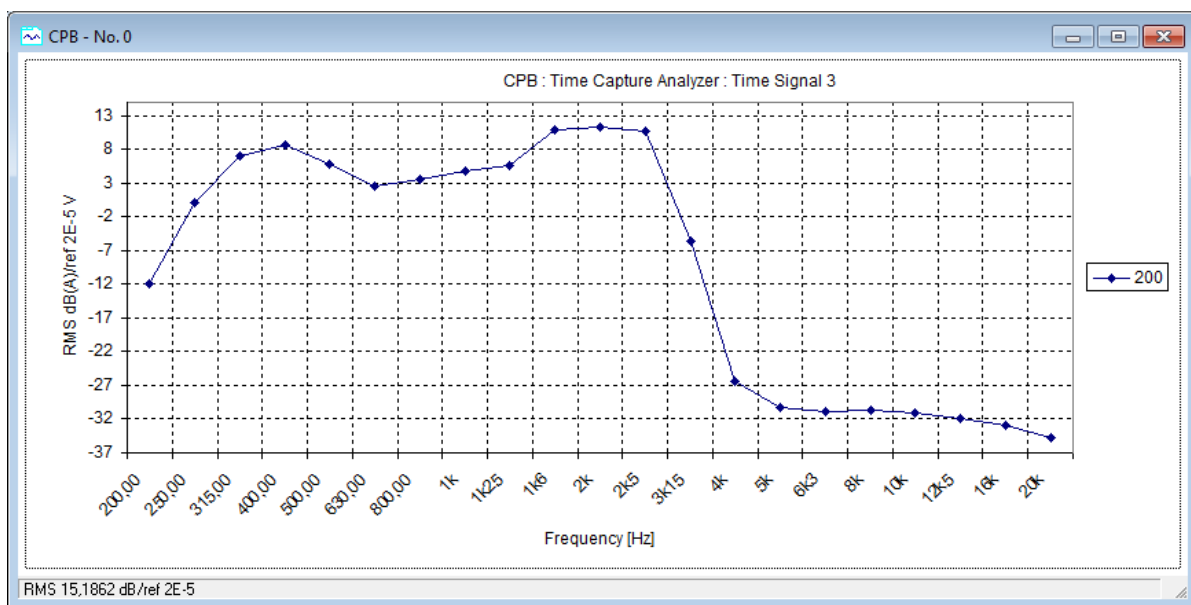
Obrázek 64 Rozsah os

Objeví se tabulka, ve které můžeme změny rozsahu provést. Změny minima, maxima a také hodnoty osy, jestli budou hodnoty po desítkách atd.



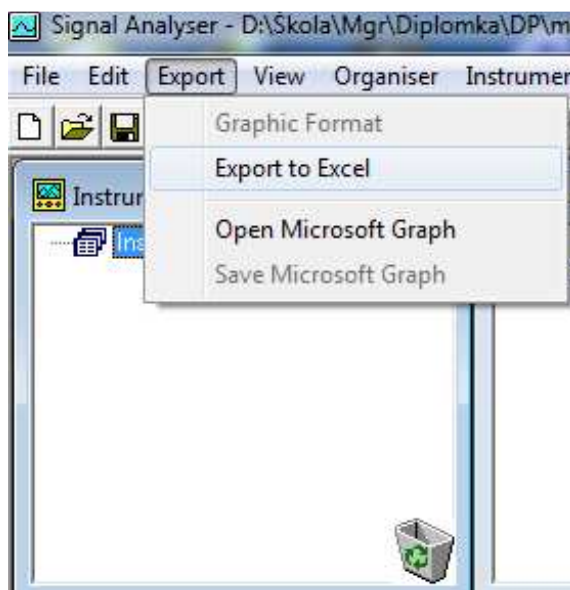
Obrázek 65 Změna rozsahu osy

Na obrázku je zobrazen již upravený graf s rozsahem os a legendou. Upravený graf je dále možno importovat do textových souborů, Excelu, nebo do jiných různých programů. Import můžeme provést dvojklikem na graf a následným kopírováním, například pomocí klávesové zkratky Ctrl + C. A dále vložit jako graf do jiných programů.



Obrázek 66 Upravený graf

Nejjednodušší způsob jak si graf zobrazit v Excelu, nebo pomocí funkce Microsoft graf je pomocí záložky Export a následně volba Export to Excel (exportovat do Excelu), nebo možnost Open Microsoft Graph (otevření Microsoft grafu).



Obrázek 67 Export grafu